Acerca de este libro

Esta es una copia digital de un libro que, durante generaciones, se ha conservado en las estanterías de una biblioteca, hasta que Google ha decidido escanearlo como parte de un proyecto que pretende que sea posible descubrir en línea libros de todo el mundo.

Ha sobrevivido tantos años como para que los derechos de autor hayan expirado y el libro pase a ser de dominio público. El que un libro sea de dominio público significa que nunca ha estado protegido por derechos de autor, o bien que el período legal de estos derechos ya ha expirado. Es posible que una misma obra sea de dominio público en unos países y, sin embargo, no lo sea en otros. Los libros de dominio público son nuestras puertas hacia el pasado, suponen un patrimonio histórico, cultural y de conocimientos que, a menudo, resulta difícil de descubrir.

Todas las anotaciones, marcas y otras señales en los márgenes que estén presentes en el volumen original aparecerán también en este archivo como testimonio del largo viaje que el libro ha recorrido desde el editor hasta la biblioteca y, finalmente, hasta usted.

Normas de uso

Google se enorgullece de poder colaborar con distintas bibliotecas para digitalizar los materiales de dominio público a fin de hacerlos accesibles a todo el mundo. Los libros de dominio público son patrimonio de todos, nosotros somos sus humildes guardianes. No obstante, se trata de un trabajo caro. Por este motivo, y para poder ofrecer este recurso, hemos tomado medidas para evitar que se produzca un abuso por parte de terceros con fines comerciales, y hemos incluido restricciones técnicas sobre las solicitudes automatizadas.

Asimismo, le pedimos que:

+ *Haga un uso exclusivamente no comercial de estos archivos* Hemos diseñado la Búsqueda de libros de Google para el uso de particulares; como tal, le pedimos que utilice estos archivos con fines personales, y no comerciales.

+ *No envíe solicitudes automatizadas* Por favor, no envíe solicitudes automatizadas de ningún tipo al sistema de Google. Si está llevando a cabo una investigación sobre traducción automática, reconocimiento óptico de caracteres u otros campos para los que resulte útil disfrutar de acceso a una gran cantidad de texto, por favor, envíenos un mensaje. Fomentamos el uso de materiales de dominio público con estos propósitos y seguro que podremos ayudarle.

+ *Conserve la atribución* La filigrana de Google que verá en todos los archivos es fundamental para informar a los usuarios sobre este proyecto y ayudarles a encontrar materiales adicionales en la Búsqueda de libros de Google. Por favor, no la elimine.

+ *Manténgase siempre dentro de la legalidad* Sea cual sea el uso que haga de estos materiales, recuerde que es responsable de asegurarse de que todo lo que hace es legal. No dé por sentado que, por el hecho de que una obra se considere de dominio público para los usuarios de los Estados Unidos, lo será también para los usuarios de otros países. La legislación sobre derechos de autor varía de un país a otro, y no podemos facilitar información sobre si está permitido un uso específico de algún libro. Por favor, no suponga que la aparición de un libro en nuestro programa significa que se puede utilizar de igual manera en todo el mundo. La responsabilidad ante la infracción de los derechos de autor puede ser muy grave.

Acerca de la Búsqueda de libros de Google

El objetivo de Google consiste en organizar información procedente de todo el mundo y hacerla accesible y útil de forma universal. El programa de Búsqueda de libros de Google ayuda a los lectores a descubrir los libros de todo el mundo a la vez que ayuda a autores y editores a llegar a nuevas audiencias. Podrá realizar búsquedas en el texto completo de este libro en la web, en la página `http://books.google.com`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Princeton University Library
32101 049823311

Digitized by Google

D1
280
.63
pt.1
919

ANNEX LIB.

Library of

Princeton University.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

ORGANE DE L'UNION DES SYNDICATS DE L'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR

J. BLONDIN, AGRÉGÉ DE L'UNIVERSITÉ

RÉDACTEUR EN CHEF

Alfred SOULIER, EXPERT PRÈS LE TRIBUNAL CIVIL DE LA SEINE.

TOME V

4 Janvier 1919 — 28 Juin 1919

PARIS

AUX BUREAUX DE LA REVUE

12, PLACE DE LABORDE (8e ARRt

1919

Digitized by Google

CONSEIL D'ADMINISTRATION

PRÉSIDENT

CORDIER Gabriel. — Président de l'Union des Syndicats de l'Electricité.

VICE-PRÉSIDENTS

LECOUEZ Raynald. — Membre de la Chambre de Commerce de Paris. — Administrateur des Ateliers de Constructions électriques du Nord et de l'Est.

MEYER Ferdinand. — Président d'honneur du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Directeur de la Compagnie continentale Edison.

ADMINISTRATEURS

BIZET Paul. — Président honoraire du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Administrateur de la Compagnie générale d'Electricité.

BERTHELOT Daniel. — Membre de l'Académie de Médecine. — Président du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique. — Président du Conseil d'Administration de la Société d'Electricité de Paris.

BRYLINSKI Emile. — Président d'honneur du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Directeur du Triphasé (Nord-Lumière).

CAHEN Henri. — Vice-Président du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Administrateur délégué du Sud-Electrique.

DUVAL Charles. — Directeur des Services électriques de la Société générale d'Entreprises.

ESCHWEGE Paul. — Président d'honneur du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Directeur de la Société d'Eclairage et de Force par l'Electricité.

FONTAINE Eugène. — Secrétaire général du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Secrétaire de l'Union des Syndicats de l'Electricité.

† GAUTHIER-VILLARS Albert. — Editeur. — Ancien élève de l'Ecole Polytechnique.

GIRARDEAU Emile. — Ingénieur. — Ancien élève de l'Ecole Polytechnique. — Administrateur directeur technique de la Société française Radio-Electrique.

LEVI Lazare. — Directeur général de la Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. — Administrateur délégué de la Compagnie des Charbons Fabius Henrion.

MASSE René. — Président du Syndicat professionnel de l'Industrie du gaz. — Ingénieur civil des Mines, ancien élève de l'Ecole Polytechnique.

MAZEN Natalis. — Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction des Chemins de fer de l'Etat. — Professeur à l'Ecole supérieure d'Electricité.

MEYER Marcel. — Président du Syndicat professionnel des Industries électriques. — Directeur de la Compagnie générale des Travaux d'Eclairage et de Force (Etablissements Clemançon).

MICHEL Charles. — Directeur de la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs et Matériel d'usines à gaz.

PARÉ Marcel. — Ingénieur de la Société saint-quentinoise d'Eclairage, de Chauffage et de Force motrice. — Administrateur de la Compagnie continentale pour la Fabrication des Compteurs.

PETIT Joseph. — Administrateur délégué de l'Omnium lyonnais de Chemins de fer et Tramways. — Administrateur-délégué de la Société anonyme Westinghouse.

SAUREL Maurice. — Docteur en droit. — Directeur général de la Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston.

TICIER Armand. — Directeur de la Société d'Eclairage électrique de Bordeaux et du Midi.

SECRÉTAIRE DU CONSEIL D'ADMINISTRATION

DURANGEL George. — Secrétaire général de l'Energie électrique du Littoral méditerranéen.

COMMISSAIRES DES COMPTES

DIEUDONNÉ Jules. — Chef de la comptabilité des Tramways de Paris et du Département de la Seine.

ROSENFELD L. — Secrétaire du Conseil de la Compagnie de l'Air comprimé. — Membre de la Compagnie des Experts-comptables de Paris.

DIRECTEUR

BLONDIN J. — Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF

SOULIER Alfred. — Expert près le Tribunal civil de la Seine.

Digitized by Google

COMITÉ DE RÉDACTION

PRÉSIDENT

Blondel, André, Membre de l'Institut, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées.

VICE-PRÉSIDENTS

Brylinski, E., Président d'honneur du Syndicat des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique, Président de la Société internationale des Électriciens et du Comité électrotechnique français

Janet, Paul, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris, Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité.

Leblanc, Maurice, Membre de l'Institut, Président de la Commission électrotechnique internationale, Ingénieur conseil.

SECTION SCIENTIFIQUE et TECHNIQUE

d'Arsonval, A., Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France.

† **Deprez**, Marcel, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers.

Lippmann, G., Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Violle, J., Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers.

Berthelot, Daniel, Membre de l'Académie de Médecine, Président du Conseil d'administration de la Société d'Electricité de Paris.

Bergonié, Dr J.-A., Membre correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté de Médecine de Bordeaux.

Guillaume, Ch. Ed., Membre correspondant de l'Institut, Directeur du Bureau central des Poids et Mesures.

Barbillion, L.-C., Professeur à l'Université de Grenoble, Directeur de l'Institut électrotechnique de Grenoble.

Becker, J., Licencié ès sciences.

Bethenod, J., Ingénieur en chef de la Société française Radio-Électrique.

Bion, Lieutenant de vaisseau.

Boucherot, P., Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielle de la Ville de Paris.

Brillouin, M., Professeur au Collège de France.

Broca, A., Professeur agrégé de physique à la Faculté de Médecine, Répétiteur à l'École Polytechnique.

Camichel, C., Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Institut électrotechnique de Toulouse.

Chaumat, H., Sous-Directeur de l'École supérieure d'Électricité.

Dennery, A., Inspecteur général des Postes et Télégraphes, Directeur de l'École professionnelle supérieure des Postes et Télégraphes.

† **Devaux-Charbonnel**, X., Ingénieur en chef des Télégraphes.

Fabry, Ch., Professeur à l'Université de Marseille, Examinateur à l'École Polytechnique.

Ferrié Général G., Directeur technique de la Radiotélégraphie militaire.

Féry, Ch., Docteur ès sciences, Professeur à l'École de Physique et de Chimie.

Girault, P., Ingénieur électricien.

Guilbert, C.-F., Ingénieur électricien, Arbitre rapporteur près le Tribunal de Commerce de la Seine.

Guillebot de Nerville, Ingénieur en chef des Télégraphes, Professeur à l'École nationale des Ponts et Chaussées.

Gutton, C., Professeur à l'Université de Nancy.

Jouaust, R., Chef de travaux au Laboratoire central d'Électricité.

Jouguet, Ingénieur en chef au Corps des Mines.

Lamotte, M., Professeur à la Faculté des Sciences et à l'Institut électrotechnique de Toulouse.

Langevin, P., Professeur au Collège de France.

Laporte, F., Sous-Directeur du Laboratoire central d'Électricité.

Latour, Marius, Ingénieur conseil.

Leauté, André, Répétiteur de physique à l'École Polytechnique, Secrétaire général de la Société industrielle des Téléphones.

Liénard, A., Professeur à l'École supérieure des Mines.

Mauduit, A., Professeur d'Électrotechnique à la Faculté des Sciences de Nancy.

Pérot, A., Professeur à l'École Polytechnique.

Poincaré, Lucien, Vice-recteur de l'Académie de Paris.

Pomey, J., Ingénieur en chef des Télégraphes.

Rigollot, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Lyon, Directeur de l'École centrale lyonnaise.

Swyngedauw, R.-A., Professeur à l'Université de Lille, Directeur de l'Institut électrotechnique de Lille.

† **Tissot**, C., Capitaine de frégate.

Turpain, A., Professeur de physique à la Faculté des Sciences de Poitiers.

Vogt, Directeur de l'Institut électrotechnique de Nancy.

Weiss, P., Professeur à l'École polytechnique de Zurich.

SECTION INDUSTRIELLE, ÉCONOMIQUE et FINANCIÈRE

Carpentier, J., Membre de l'Institut, Constructeur électricien.

Le Chatelier, Henri, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Liesse, André, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers.

Witz, A., Membre correspondant de l'Institut, Doyen de la Faculté libre des Sciences de Lille.

† **Armagnat**, H., Ingénieur conseil, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

Auvert, Ingénieur principal du matériel de la Compagnie P.-L.-M (installations électriques).

† **Bellet**, Daniel, Secrétaire de la Société d'Économie politique, Professeur à l'École libre des Sciences politiques.

Bochet, A., Ingénieur des Arts et Manufactures, Ancien Président de la Société internationale des Electriciens.

(RECAP)

494338

Digitized by Google

Brenot, P., du génie, Chef du poste radiotélégraphique de la Tour Eiffel, Conseiller technique au Ministère des Colonies.

Brocq, Directeur de la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs et Matériel d'usines à gaz.

de la Brosse, Ingénieur en chef du Service des forces hydrauliques des Alpes.

Buffet, J., Président de la Société nancéenne de Crédit industriel et de Dépôts.

Cambon, Victor, Ingénieur des Arts et Manufactures.

Charpenay, Banquier, Membre de la Chambre de Commerce de Grenoble, Administrateur délégué de la Société des Forces motrices du Haut-Grésivaudan.

Caudrelier, F., Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef des Services électriques de la Compagnie parisienne de Distribution d'Électricité.

Cordier, F., Colonel d'Artillerie.

Cordier, Fernand, Directeur de l'usine de Champagne-sur-Seine des Établissements Schneider.

Cote, E., Directeur de *La Houille blanche*.

Drouin, F., Directeur des Services techniques de la Compagnie générale d'Électricité.

Eydoux, D., Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur principal des Chemins de fer du Midi.

Eyrolles, L., Ingénieur, Directeur de l'École spéciale des Travaux publics, du Bâtiment et de l'Industrie.

Flusin, Professeur d'Électrochimie et d'Électrométallurgie à la Faculté des Sciences de Grenoble.

Girod, Paul, Administrateur délégué des Établissements Paul Girod, à Ugine.

Gratzmuller, L., Ingénieur en chef du matériel de traction électrique à la Société Alsacienne de Constructions mécaniques.

Guyon, Directeur de la Compagnie des Tramways de Lyon.

Hugoniot, Ingénieur conseil.

Imbs, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef de la Compagnie parisienne de Distribution d'Électricité.

Jumau, Ingénieur.

Juppont, Ingénieur conseil.

Labour, P., Ingénieur.

abrouste, P., Ingénieur conseil.

aurain, H., Président de la Société d'Électricité de Reims et de la Société des Tramways électriques de Reims, Directeur des Services techniques de la Société du Gaz de Paris, Membre du Conseil de l'École centrale des Arts et Manufactures.

Lauriol, P., Ingénieur en chef des Services généraux d'éclairage de la Ville de Paris.

Legouez, R., Membre de la Chambre de Commerce de Paris.

Lelong, Ingénieur en chef des Constructions navales, Ministère de la Marine.

Lépine, Charles, Ingénieur des Arts et Manufactures, Administrateur-délégué de la Société hydro-électrique de Fure et Morge et de Vizille.

Lévy-Salvador, Paul, Chef du Service technique de l'hydraulique agricole au Ministère de l'Agriculture.

Locherer, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef de la Compagnie du Chemin de fer métropolitain de Paris.

Loppé, F., Ingénieur des Arts et Manufactures.

Lorin, Maître de Conférences à l'École centrale des Arts et Manufactures.

Mamy, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.

de Marchena, Sous-Directeur de la Compagnie française Thomson-Houston.

Mariage, André, Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur général de la Compagnie générale des Omnibus de Paris.

Maugas, Gabriel, Ingénieur général du Génie Maritime.

Mazen, N., Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction des Chemins de fer de l'État.

Parodi, H., Ingénieur, Chef des Services électriques du Matériel et de la Traction du Chemin de fer d'Orléans.

Picou, R., Ingénieur conseil, ancien Président du Comité électrotechnique français.

† **Piérart**, Lieutenant-colonel, Chef de l'Établissement central de Matériel spécial du Génie.

Pinot, R., Secrétaire général de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques.

Resal, Eugène, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Administrateur-directeur des Tramways de Bordeaux.

Rey, J., Administrateur-directeur de la maison Sautter-Harlé.

Roth, E., Ingénieur électricien.

Roux, G., Directeur du Bureau de Contrôle des Installations électriques.

de Valbreuze, Ingénieur électricien, Administrateur-délégué des Anciens Établissements Deberghe et Lafaye.

Vautier, T., Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

Walkenaer, Ch., Inspecteur général des Mines.

Weiss, Georges, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé à la Faculté de Médecine.

SECTION DE LÉGISLATION

Bougault, P., Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

Carpentier, E., Professeur adjoint à la Faculté de Droit de Paris, Avocat à la Cour d'Appel.

Ducreux, A., Avocat à la Cour d'Appel de Paris

Fontaine, E., Secrétaire général du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique.

Frenoy, Avocat à la Cour de Cassation et au Conseil d'Etat.

Mahieu, A. A., Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur chargé des Services des Routes, de l'Automobile, des Usines hydrauliques et des Distributions d'Energie électrique au Ministère des Travaux publics, des Transports de la Marine marchande.

Monmerqué, A., Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Secrétaire du Comité permanent d'Électricité.

Payen, F., Docteur en droit, Avocat à la Cour d'Appel de Paris

† **Sée**, Raymond, Ancien élève de l'École Polytechnique, Docteur en Droit, Directeur de l'Ouest-Lumière.

Sirey, Ch., Avocat à la Cour d'Appel de Paris.

Taillefer, A., Avocat à la Cour de Paris, ancien élève de l'École Polytechnique, membre de la Commission technique de l'Office national de la Propriété industrielle.

de la Taste, Avocat à la Cour d'Appel de Paris, Licencié ès sciences physiques et chimiques.

Weiss, Inspecteur général des Mines.

Zacon, Inspecteur du Travail.

Digitized by Google

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES

Recherches et travaux scientifiques

GÉNÉRALITÉS

Théories. — Théorie de la structure atomique basée sur des considérations physico-chimiques (*A.-W. Stewart*) 594
Le principe de relativité (*J.-B. Pomey*) 435
Lettres à l'Académie des Sciences sur l'unification des forces et des phénomènes de la nature, par *Alfred Larîigue* (Bibliographie) 746

Organisation des recherches. — Les recherches scientifiques et industrielles en Grande-Bretagne 281

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

Généralités. — Théorème de Pleijel (*J.-B. Pomey*). 622
La conservation de l'électricité et la théorie électronique (*L. Décombe*) 443
Représentations mécaniques des phénomènes électromagnétiques (*Arthur Korn*) 150
La réactance des machines synchrones et ses applications (*R.-E. Doherty* et *O.-E. Schiller*) 302
Relation entre certains phénomènes galvanométriques (*C.-W. Heaps*) 217

Electrostatique. — Influence des diélectriques sur les tensions disruptives (*E.-R. Wolcott*) 131
Caractéristiques des diélectriques (*Chester-Arthur Butman*) 653
Variation du pouvoir inducteur spécifique de quelques substances avec la température, soit seules, soit incorporées au papier (*H. C.-P. Weber* et *T.-C. Kay*) 718
Relation entre le pouvoir inducteur spécifique d'un électrolyte et le potentiel d'un métal plongé dans l'électrolyte (*Dayton L. Ulrey*) 753

Electrocinétique. Electrodynamique. — Courant électrique. — Sur les propriétés des circuits électriques dénués de résistance (*G. Lippmann*) 163
Relations de réciprocité découlant des lois de Kirchhoff (*J.-B. Pomey*) 83
Etat permanent sur une ligne parcourue par un courant sinusoïdal (*E. Brylinski*) 323
Propagation du courant dans une ligne (*J.-B. Pomey*). 204
Quelques phénomènes de transition dans les systèmes de distribution électrique (*E.-W. Marchant*). 45
Analogies entre les équations de l'électrodynamique et celles de l'hydrodynamique (*E. Faure*) 548
Le courant alternatif, par *R. Swyngedauw* (Bibliographie) 202
Sur la polarisation en courant alternatif (*P. Vaillant*). 722
La résistivité électrique de l'acier trempé (*E.-D. Campbell*) 18

Décharge électrique. — Influence des diélectriques sur les tensions disruptives (*E.-R. Wolcott*) 131
Influence d'un champ magnétique transversal sur la décharge à travers un tube de Geissler (*James, E. Ives*) 88
Valeur du champ électrique dans l'espace obscur de Crookes d'un tube étroit (*Toshio Takamine* et *Usabora Yoshida*) 299
Théorie simplifiée de la chute cathodique dans les gaz, avec application aux cathodes planes et filiformes (*C.-A. Skinner*) 484
Bobine d'induction, potentiel secondaire à la fermeture (*E. Taylor Jones*) 87
On the Lichtenberg Figures (**Sur les figures de** Lichtenberg), par *P.-O. Pedersen* (Bibliographie). 778

Magnétisme. Electromagnétisme. — Sur les coefficients d'aimantation des gaz paramagnétiques et la théorie du magnéton (*Edmond Bauer* et *Auguste Piccard*) 514
Sur les coefficients d'aimantation des gaz paramagnétiques et la théorie du magnéton (*Paul Langevin*) 720
Sur l'atome de Bohr et le magnétisme (*Jakob Kunz*). 167
Représentations mécaniques des phénomènes électromagnétiques (*Arthur Korn*) 150

Rayons cathodiques et anodiques. Emission électronique. — Nouvelles observations relatives à la production des spectres métalliques par luminescence cathodique (*Edna Carter* et *Arthur S. King*) 856
Potentiels d'ionisation et de résonance relatifs aux électrons dans les vapeurs d'arsenic, de rubidium et de cæsium (*Paul-D. Foote, O. Rognley* et *F.-L. Mohler*) 794
L'émission thermo-électrique et ses applications. Le kénotron (*G. Johannès*) 857
Tubes à vide à trois électrodes employés comme relais téléphoniques par l'Administration française 151
La lampe-valve à trois électrodes (*C. Gutton*) 629
Les lampes amplificatrices (Audions) (*H. Abraham*). 506
Théorie de l'amplificateur thermo-ionique (*H.-J. Van der Byl*) 289
Schémas et description sommaire des appareils utilisant l'émission d'électrons provenant d'un filament chaud 332
Emission et absorption des photoélectrons par le platine et l'argent (*Otto Stuhlman*) 794

Digitized by Google

Rayons X. — Sur une modification à la méthode fluorométrique de mesure des rayons X et son application à la mesure du rayonnement des ampoules Coolidge (*R. Biquard*)..... 819
Energie de l'émission des rayons X caractéristiques par le molybdène et le palladium en fonction de la tension appliquée (*Benjamin-Allen Wooten*). 688
Technique radiologique, par *Ph. Grillon* (Bibliographie)..... 122

Sources d'électricité. — Relation entre le pouvoir inducteur spécifique d'un électrolyte et le potentiel d'un métal plongé dans l'électrolyte (*Dayton L. Ulrey*)..... 753
Sur la production d'un courant continu par application d'une force électromotrice alternative à un voltamètre à électrodes de platine (*P. Vaillant*)..... 593
Recherches sur le fonctionnement chimique de l'accumulateur au plomb (*Ch. Féry*)..... 627

Electrothermique. Thermo-électricité. — L'émission thermo-électrique et ses applications : le kénotron (*G. Johannès*)..... 857
Théorie de l'amplificateur thermo-ionique (*H.-J. Van der Byl*)..... 289

Electro-optique. Photoélectricité. — Emission et absorption des photoélectrons par le platine et l'argent (*Otto Stuhlman*)..... 794

SCIENCES DIVERSES

Mathématiques. — Géométrie infinitésimale vectorielle, par *A. Egnell* (Bibliographie)..... 745
Sur les fonctions polygonales périodiques (*Tr. Lalesco*). 43
Note sur le calcul des coefficients de la série de Fourier (*Louis Puget*)..... 439, 510
Applications du calcul symbolique à l'intégration des équations différentielles linéaires simultanées et à la résolution de certains problèmes de mécanique (*H. Vogt*)..... 581, 907

Hydraulique. — Sur les formules donnant le maximum du coup de bélier (*M. Gariel*)..... 201
Etude sur les maxima de surpression dans les phénomènes de coups de bélier (*C. Camichel, D. Eydoux* et *M. Gariel*)..... 243
Note sur la courbe des coups de bélier au vannage et les lois non linéaires de fermeture et d'ouverture rapides (*Ed. Carey*). (Erratum, p. 536)..... 367
Sur les coups de bélier dans les conduites de diamètre variable (*G. Guillaumin*)..... 549
Sur les coups de bélier dans les conduites de diamètre variable et formées de parties tronconiques (*G. Guillaumin*)..... 719
Conditions à remplir lorsqu'on veut, dans une installation hydraulique, augmenter le débit et, par suite, le travail, sans modifier la conduite (*comte de Sparre*)..... 687
Sur la mesure des débits de cours d'eau dans le Plateau Central (*P. Morin*)..... 515
Considérations sur l'utilisation de la force motrice des marées (*R. Gouédard*)..... 491
Sur le captage et l'utilisation de la puissance des marées (*E. Maynard*)..... 827
Sur le captage et l'utilisation de la puissance des marées (*A. Maire*)..... 906
Méthodes de jaugeage, par *Léon-W. Collet, R. Mellet* et *O. Lutschg* (Bibliographie)..... 650

Mécanique. — Calcul des ressorts. Formules pratiques et barèmes, par *E. Desgardes* (Bibliographie)..... 580
Note sur la vitesse critique des arbres. Formule de Dunkerley (*E. Hahn*)..... 123

Physique générale. — Les applications de la Physique pendant la guerre, par *H. Vigneron* (Bibliographie)..... 810

Chaleur. — La détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur, par Sadi Carnot (*L. Décombe*). 442
Sadi Carnot et les principes de la thermodynamique. 465
Comment Carnot a calculé l'équivalent mécanique de la chaleur. Un document inédit (*C. Raveau*). 511
Chaleur atomique du tungstène et du carbone aux températures de l'incandescence (*A.-G. Worthing*)..... 658
Propriétés physiques de la vapeur de pétrole (*Jean Rey*)..... 513

Optique. — Pouvoir réflecteur du tungstène et de la stellite (*W.-W. Coblentz* et *W.-B. Emerson*)... 642

Emission. — Le rayonnement lumineux du corps noir et l'équivalent mécanique de la lumière (*W.-W. Coblentz* et *W.-B. Emerson*)..... 589
Calcul des constantes de la formule du rayonnement de Planck par la méthode des moindres carrés (*Harry M. Reser*)..... 756
Sur une nouvelle méthode de mesure des températures élevées (d'après la coloration de la lumière émise par le corps incandescent) (*A. Boutaric*)... 210

Chimie. — La Conférence interalliée des Associations de Chimie..... 580, 623

Applications techniques et industrielles

GÉNÉRALITÉS

Statistique. — Les ressources de l'Amérique en énergie (*Charles P. Steinmetz*)..... 313
Le développement des distributions d'énergie électrique en Allemagne..... 871
Mc. Graw Central Stations List 1918 (Repertoire des stations centrales des Etats-Unis) (Bibliographie)..... 322

Unification. Normalisation. — Normalisation des groupes électrogènes à turbines à vapeur. 517, 551
Règles françaises d'unification du matériel électrique..... 322
Règles françaises et règles britanniques d'unification du matériel électrique..... 841
Unification ou normalisation?..... 41

Divers. — Formulaire de l'Electricien et du Mécanicien, par *E. Hospitalier* et *G. Roux* (Bibliographie)..... 579

ÉNERGIE NATURELLE
PRODUCTION DE L'ÉNERGIE MÉCANIQUE

Energie hydraulique. — Généralités. — Considérations sur l'utilisation de la force motrice des marées (*R. Gouédard*)..... 491
Sur le captage et l'utilisation de la puissance des marées (*E. Maynard*)..... 827
Sur le captage et l'utilisation de la puissance motrice des marées (*A. Maire*)..... 906

Digitized by Google

Vers la houille blanche ; Motoculture et Electromotoculture, par *Albert Turpain* (Bibliographie). 810
Annuaire de la houille blanche française, par *A. Pawlowski* (Bibliographie) 122
Comment s'est fait l'aménagement des chutes d'eau en France, par *J. Tribot-Laspière* (Bibliographie). 282
L'énergie hydraulique dans le Massif Central de la France. Bassin de la Dordogne et bassin de la Truyère (*P. Morin*) 219
Contribution à la détermination du régime hydraulique du Cher (*P. Morin*) 417
Sur la mesure des débits de cours d'eau dans le Plateau Central. (*P. Morin*) 515
Méthodes de jaugeage, par *Léon-W. Collet, R. Mellet* et *O. Lütschg* (Bibliographie) 650
Sur les formules donnant le maximum du coup de bélier (*M. Gariel*) 201
Etude sur les maxima de surpression dans les phénomènes de coups de bélier (*C. Camichel, D. Eydoux* et *M. Gariel*) 243
Note sur la courbe des coups de bélier au vannage et les lois non linéaires de fermeture et d'ouverture rapides (*E. Carey*) (Erratum, p. 536) 367
Sur les coups de bélier dans les conduites de diamètre variable (*G. Guillaumin*) 549
Sur les coups de bélier dans les conduites de diamètre variable et formées de parties tronconiques (*G. Guillaumin*) 719
Conditions à remplir lorsqu'on veut, dans une installation hydraulique, augmenter le débit et par suite, le travail sans modifier la conduite (*le comte de Sparre*) 687
Installations hydro-électriques de grande puissance en courant continu (*P. Bunet*) 822
Les ressources de l'Amérique en énergie (*Charles P. Steinmetz*) 313

Aménagements hydrauliques. — La nouvelle turbine de 2.500 ch de l'usine hydro-électrique de Kubel, près Saint-Gall (Suisse) 19

Energie thermique. — Généralités. — L'économie du charbon dans les chaudières, par *Emile Serieye* (Bibliographie) 2
La tourbe et son utilisation, par *Pierre de Montgolfier* (Bibliographie) 362
Recherches sur les tourbières et l'industrie de la tourbe au Canada en 1911-1912, par *Anrep* (Bibliographie) 650
La production du pétrole en France (*Emile Chauvin*). 609
Prime au personnel sur les économies de charbon dans une centrale électrique thermique (*M. Grospaul*). 58

Aménagements thermiques. — Les chaudières avec réchauffeurs d'air. Chaudières de la Underfeed Stoker Co. 265
Grille automatique de la Underfeed Stoker Co. 269
Remarques sur l'établissement et l'exploitation des installations de condenseurs (*C. Oettinger*) 419

Moteurs thermiques. — Les turbines à vapeur de grandes puissances (*Jean Guerner*) 227
Décret du 23 février 1919 réglementant l'usage des appareils à vapeur 464
Les moteurs à explosion dans l'aviation, par *A. Masmejean* et *E. Bérélare* (Bibliographie) 362
Création d'un syndicat des constructeurs et exploitants des moteurs à combustion interne 161

CONSTRUCTION DU MATÉRIEL ÉLECTRIQUE

Matières premières. — Les richesses minérales du Massif breton 835
De quelques matières premières nécessaires à l'industrie électrique « Le Mica » (*Désiré Pector*) 673, 701, 735, 769

Production et consommation de l'amiante 197
Sur l'emploi de l'aluminium dans l'industrie de l'électricité (*E. Dusaugey*) 28, 53
Comparaison entre l'équilibre élastique interne des alliages après trempe et après écrouissage, par étirage à froid (*A. Portevin*) 52
Décisions publiées au Journal Officiel du 5 décembre 1918 concernant la vente et le commerce du magnésium, du ferro-chrome, du ferro-tungstène, du ferro-molybdène, du chlorure de magnésium et du siliciure de calcium 119

Matériel. Outillage. — Tour à roues pour essieux montés de locomotives 384
Les tours. — Construction, essais, emplois, exemples pratiques de travaux, par *O. Perrigo* (Bibliographie) 580
Fraiseuse verticale à commande électrique 385, 386
Le fraisage. — La fraise. Les machines à fraiser. Les machines à tailler les engrenages. Exemples de travaux de fraisage, par *Maurice Varinois* (Bibliographie) 580
La commande électrique des machines-outils (*A. Soulier*) 381
Chariots transporteurs électriques pour manutention (*Jacques Deschamps*) 171
La vérification des pièces interchangeables, par *Paul Négrier* (Bibliographie) 580
Calcul des ressorts. Formules pratiques et barèmes, par *E. Desgardes* (Bibliographie) 580
Note sur la vitesse critique des arbres. Formule de Dunkerley (*E. Hahn*) 123
Origine et évolution de la soufflerie, par *Ch. Frémont* (Bibliographie) 810

Usines et ateliers. — Le contrôle technique à l'usine (métaux), par *H. Rouet* et *F. Cotto* (Bibliographie) 282
Augmentation du rendement des ateliers par l'amélioration de l'éclairage 640
Comment on travaille l'aluminium, 528, 608, 672, 832, 934
Accouplement rapide de deux dynamos (*A. Soulier*). 318

PRODUCTION ET DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

Généralités. — Considérations sur le rendement dans les installations électriques (*Rice*) 35
Sur un montage des compteurs enregistrant l'énergie des postes triphasés permettant la détermination de l'énergie magnétisante et donnant une plus grande sécurité de bon fonctionnement (*Angelo Barbagelata*) 81
Sur un montage des compteurs enregistrant l'énergie des postes triphasés (*P. Bourguignon*) 362
Les tarifs de vente au kilowatt-heure de l'énergie pour éclairage sont devenus insuffisants (*Max Du Bois*) 725
Relèvement du prix de vente de l'électricité à Pau. 274
Etude analytique des conditions dans lesquelles, pour un échauffement déterminé, la puissance de certaines catégories de machines électriques est maximum (*H. Lajus*) 467
Normalisation des groupes électrogènes à turbines à vapeur 517
Le courant alternatif, par R. *Swyngedauw* (Bibliographie) 202
Quelques phénomènes de transition dans les systèmes de distribution électrique (*E.-W. Marchant*) 45
Note sur le calcul des coefficients de la série de Fourier (*Louis Puget*) 439, 510
Notes sur l'application pratique de la loi du 15 juin 1906 et des règlements annexes (*A. Monmerqué*). 79, 237, 573, 773

Digitized by Google

Production. — MACHINES GÉNÉRATRICES. — Revue critique de la bibliographie relative à l'attraction magnétique déséquilibrée dans les machines dynamo-électriques (*Alexandre Gray* et *J.-G. Pertsch*) 923
L'attraction magnétique dans les machines électriques (*E. Rosenberg*) 925
Schémas et règles pratiques de bobinage des machines électriques, par *F. Torices* et *A. Curchod* (Bibliographie) 746
Théorie des enroulements des machines à courant continu, par *G. Szarvady* (Bibliographie) 842
Une dynamo à courant continu fonctionnant à tension constante sous des vitesses variables (*S.-R. Bergmann*) 354
Accouplement rapide de deux dynamos (*A. Soulier*). 318
Méthode d'analyse expérimentale des propriétés des alternateurs (*A. Blondel* et *F. Carbenay*). 811, 843
Etude sur la marche en parallèle des alternateurs (*M. de Marchena*) 405
Essai à puissance réduite des alternateurs (*Togna*) 779, 875
Sur certains modes d'emploi du collecteur en courant polyphasé (*Gratzmuller*) 842
Les alternateurs à haute fréquence (*Marius Latour*). 557
Sur les machines à haute fréquence et leur réglage (*J. Béthenod*) 787
Porte-balai pour balais au charbon (*J.-O. Girdlestone*) 804
Les balais en charbon (*P. Hunter-Brown*) 729

ACCUMULATEURS. — Accumulateur Edison pour chariots transporteurs 174
Recherches sur le fonctionnement chimique de l'accumulateur au plomb (*Ch. Fery*) 627

Transformation. — Le calcul des intensités dans les transformateurs disposés suivant le montage de Scott et ses conséquences au point de vue de la puissance maximum admissible (*E. Batiale*). 519
Calcul des transformateurs tenant compte des prescriptions légales (*E. Wirz*) 568
Mesure du rapport de transformation et du déphasage entre primaire et secondaire dans les transformateurs d'intensité au moyen d'un transformateur annulaire (*H.-S. Baker*) 892
Transformateur de 90 kv-a de la Société Générale Agricole 311
Cellules et bobines de protection de l'Eclairage électrique pour transformateurs 697
Méthode pour l'essai des transformateurs (*Francis-B. Silsbee*) 449
Bobine d'induction, potentiel secondaire à la fermeture (*E. Taylor Jones*) 87
Modification partielle de groupes moteurs-génératrices transformant du courant continu (*C.-L. Brown*) 301
Sur un système de transformation de courant continu en courant alternatif, et vice-versa, sans commutateur divisé (*O. Li Gotti*) 471
Sur les redresseurs à vapeur de mercure 140, 724
Marche en parallèle et réglage de la tension des redresseurs de courant à vapeur de mercure (*B. Schafer*) 230
Redresseurs de courants à décharge électronique : Kenotron, Tungar, Pliotron, Dynatron, Audion, Pliodynatron 332
Utilisation de courants triphasés pour la production du courant monophasé (*Walker*) 864

Transmission. Distribution. — GÉNÉRALITÉS. — Propagation du courant dans une ligne (*J.-B. Pomey*) 204
Etat permanent sur une ligne parcourue par un courant sinusoïdal (*L. Brylinski*) 323
A propos des systèmes $\frac{U_1}{I_2}$ = constante (*P. Boucherot*) 203
Quelques phénomènes de transition dans les systèmes de distribution électrique (*E.-W. Marchant*) 45
Emploi des moteurs synchrones pour améliorer le facteur de puissance. Etude de la formule générale (*Paul Ricaunier*) 3
L'amélioration du facteur de puissance (*A. Soulier*). 505, 831
Influence des diélectriques sur les tensions disruptives (*E.-R. Wolcott*) 131
Distribution et tarification du courant électrique pour le chauffage 641
Arrêté du 18 mars 1919 fixant les frais de contrôle des distributions d'énergie électrique 536
Instructions sur le mode d'application du décret du 21 novembre 1916 à partir du 1er février 1919. 464
Circulaire du 1er septembre 1918 relative aux distributions d'énergie électrique empruntant, autrement que par simple traversée, des voies dépendant de la grande voirie et non affectées à la circulation publique (*A. Claveille*) 39
Sur l'application des articles 12 et 14 de la loi du 29 juin 1918 aux entreprises de distribution d'énergie électrique (*Gaston Mayer, G. Frenoy* et *L. de la Taste*) 37
Le permissionnaire simplement autorisé à fournir la force motrice à l'exclusion de l'éclairage électrique, peut-il être poursuivi en simple police pour avoir fait, au moyen des mêmes fils, une distribution d'éclairage (*Paul Bougault*) 901
Arrêt de la Cour d'appel de Paris du 16 novembre 1916, relatif aux droits de voirie 158

LIGNES. CANALISATIONS. — Recherche rapide de la tension à laquelle travaille le métal dans les canalisations électriques sous l'action de l'effort de traction (*Jean Holy*) 26
Le halage des conducteurs électriques dans les conduites (*Terrel Croft*) 934
Note sur les essais et mesures relatifs aux lignes électriques (*L. Mouchard*) 352
Application de la théorie et de la pratique à la construction des isolateurs de lignes de transmission (*G.-J. Gilchrest*) 63
Sur le « vieillissement » des isolateurs 433
Portique pour alignement et angle faible 448
Sur la résistance et la réactance effectives d'un câble armé triphasé pour les harmoniques du courant (*R. Swyngedauw*) 16
Sur les pertes d'énergie dans les diélectriques des câbles armés (*R. Swyngedauw*) 283
Sur l'influence de l'enveloppe sur les résistance et réactance effectives d'un câble armé pour les harmoniques 3 (*R. Swyngedauw*) 165
Mesure de la capacité dans les câbles armés triphasés en vue de l'évaluation du courant de capacitance (*Raymond Bouzon*) 403, 651
Mesure de la capacité dans les câbles armés triphasés en vue de l'évaluation du courant de capacitance (*E. Brylinski*) 745
Circulaire du 10 décembre 1918 recommandant aux préfets de n'accorder l'installation de distributions d'énergie électrique par permission de voirie que sur avis du ministre des Travaux publics et des Transports 119
Circulaire du 8 octobre 1918 relative à la commande des poteaux en bois 40

APPAREILLAGE. — Prise de courant haute tension .. 312
Bobines de choc de l'Eclairage électrique 699
Le parafoudre à pellicule d'oxyde (*Crosby Field* et *Ch.-P. Steinmetz*) 393

Usines, sous-stations. Réseaux. — Considérations sur le rendement dans les installations électriques (*Rice*) 35

Digitized by Google

Sur les données actuelles en matière de construction d'usines hydro-électriques, par *Denis Eydoux* (Bibliographie) 434
Installations hydroélectriques de grande puissance en courant continu (*P. Bunet*) 822
Mc Graw Central Stations List 1918 (Répertoire des stations centrales des Etats-Unis) (Bibliographie) 322
A travers les stations électriques dévastées. Les Aciéries de Longwy (Mont Saint-Martin) (*Auguste Pawlowski*) 602
A travers les stations électriques dévastées. Les Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt (Usines d'Homécourt) (*Auguste Pawlowski*) 723
A travers les usines lorraines dévastées. Les installations électriques de Pont-à-Mousson (*Auguste Pawlowski*) 821
L'usine hydro-électrique de l'Ance de la Compagnie électrique de la Loire et du Centre (*J. de Soucy*). 659, 689
Usine de Mazières 446
Exposition d'usines ne déparant pas le paysage 905
Poste de 900 kw installé sur les canalisations triphasées, 5250 v., 50 p. : sec., de la Compagnie d'Electricité de Marseille (*A. Racapé*) 757
Transmission d'énergie électrique de Bourges à l'arsenal américain de Beauvoir (*Michel Berthon*). 445
Le développement des distributions d'énergie électrique en Allemagne 871
Les projets de création de très grands réseaux de distribution d'énergie électrique en Allemagne, Hollande et Suède 353
Projet d'une ligne collectrice d'énergie électrique à travers la Suisse (*E. Kohler*) 565
A propos des déprédations commises contre les réseaux électriques 121
Arrêt du Conseil d'Etat du 17 mai 1918 : Refus de permission de voirie 648
Jurisprudence. Tribunal de Saint-Amand-Montrond, 7 mars 1918. — Compagnie le Centre électrique contre Jacquet (*Paul Bougault*) 613
Jurisprudence. Tribunal de Pontoise, 12 décembre 1917. — Société d'éclairage, chauffage, force motrice contre Haas 576

APPLICATIONS MÉCANIQUES

Moteurs. — Branchement des gros moteurs à courant continu sans résistances de démarrage (*W. Linke*) 869
La réactance des machines synchrones et ses applications (*R.-E. Doherty* et *O.-E. Shirley*) 302
Sur la théorie des machines asynchrones à champ elliptique (*W. Genkin*) 539
Note sur le montage en récupération du moteur shunt à collecteur (*Marius Latour*) 363
A propos du freinage et de la récupération avec les moteurs à collecteur (*A. Blondel*) 81
Fonctionnement des moteurs à induction polyphasés (*Justin Lebovici*) 451
Application du diagramme des moteurs asynchrones (*L. Lagron*) 507
Conception physique du fonctionnement du moteur asynchrone monophasé (*B.-G. Lamme*) 191
Réglage de la vitesse des moteurs d'induction par couplage en cascade (*G. Darrieus*) 257
Sur le réglage de la vitesse des moteurs d'induction par couplage en cascade. — A propos de l'article de G. Darrieus (*J. Bethenod*) 538
Sur le réglage de la vitesse des moteurs d'induction par couplage en cascade. — Réponse à une note de M.-J. Bethenod (*Darrieus*) 618
Démarreurs pour moteurs à courant continu et moteurs asynchrones 381, 382
Agriculture. — Vers la Houille blanche ; Motoculture et Electromotoculture, par *Albert Turpain* (Bibliographie) 810
L'avenir du labourage électrique et le remembrement de la propriété rurale (*Ach. Delamarre*). 795
Le labourage électrique dans la région de Meaux (*Ach. Delamarre*) 307
Les treuils de labourage (*Ach. Delamarre*) 487
Treuil électrique de labourage de la Société Générale Agricole 309
L'électricité en agriculture, système C.-F. Cooke 567
Mines. — L'emploi de l'électricité dans les mines d'anthracite (*J.-B. Crane*) 805
Métallurgie. — Le laminoir de la « Liberté » de la Compagnie des Aciéries Carnegie (Etats-Unis) (*Chas.-A. Menk* et *F.-L. Hunt*) 726

TRACTION. LOCOMOTION

La grande traction électrique (*N. Mazen*) 713
Programme d'électrification partielle des chemins de fer français ; expérience actuellement acquise en France et à l'étranger dans l'électrification des grandes lignes (*A. Mauduit*) 402, 930
L'électrification partielle d'un grand réseau de chemins de fer, Paris-Orléans (*Sabouret*) 422
Le chemin de fer électrique à écartement de 0,60 m. 603
Le retour du courant de traction dans un réseau à courant alternatif monophasé (*J. Lhértaud*) 91
Le transport des marchandises sur les voies ferrées électriques d'intérêt local (*Lucien Pahin*) 114
Ligne de traction à courant monophasé de Tarbes à Bigorre 101
Effets d'induction produits par le courant alternatif de traction sur les lignes téléphoniques et télégraphiques (*N.-S. Warren*) 175
Utilisation des transformateurs-suceurs sur la ligne de Tarbes à Bagnères 111
L'organisation économique des transports industriels automobiles (*Emile Belot*) 566
Chariots transporteurs électriques pour manutention (*Jacques Deschamps*) 171

TÉLÉGRAPHIE. TÉLÉPHONIE

Généralités. — Effets d'induction produits par le courant alternatif de traction sur les lignes téléphoniques et télégraphiques (*N.-S. Warren*). 175

Télégraphie. — Programme de transformation du réseau télégraphique français. Le développement du réseau de câbles. (*J.-B. Pomey*) 303
Carte des lignes télégraphiques d'Alsace 180, 184
Le synchronisme dans l'appareil multiplex employé par l'armée américaine (*Toupet*) 416
Memento à l'usage des gradés et sapeurs du 8e régiment du Génie, par *le lieutenant Jacob* (Bibliographie) 362
Exploitation accélérée sur les longs câbles sous-marins (*Luers*) 802
Appareil récepteur Ader pour télégraphie sous-marine 798
Récepteur à résonance de M. Blondel pour télégraphie sous-marine 800
Récepteur Charron à résonance hydrodynamique pour télégraphie sous-marine 801
Relais employés en télégraphie sous-marine (*J.-B. Pomey*) 797
Relais Heurtley et Orling pour télégraphie sous-marine 798
Relais K. Gulstad pour câble sous-marin 799
Relais Brown et Allan pour câble sous-marin 799
Relais de câble sous-marin Brown 799

Digitized by Google

Téléphonie. — La commutation automatique dans la téléphonie à longue distance (*C. Janculesco*). 595
Téléphonie et télégraphie multiplex (*Frank-B. Jewett*). 670
Les relais téléphoniques employés par l'Administration française ... 151
Le multiple téléphonique interurbain de Strasbourg (*J.-B. Pomey*) ... 335
La grenaille de charbon pour microphones ... 671

Radiotélégraphie. Radiotéléphonie. — La télégraphie sans fil. La téléphonie sans fil. Applications diverses, par *G.-E. Petit* et *Léon Bouthillon* (Bibliographie) ... 874
Note sur un problème d'émission musicale en radiotélégraphie (*T. Minohara*) ... 747
Les alternateurs à haute fréquence destinés à l'alimentation des antennes de télégraphie sans fil (*Marius Latour*) ... 557
Sur les machines à haute fréquence et leur réglage (*J. Béthenod*) ... 787
La lampe-valve à trois électrodes (*C. Gutton*) ... 629
Procédé et dispositifs pour accroître la sélectivité des circuits électriques, pour télégraphie sans fil (*M.-I. Pupin* et *E.-H. Armstrong*) ... 270
Note sur l'onde fondamentale et les harmoniques dans une antenne homogène et dans une antenne non homogène (*L. Dubar*) ... 284
La télégraphie sans fil dans les colonies françaises. 233
L'enseignement de la télégraphie sans fil à l'École supérieure d'Electricité ... 401, 506

APPLICATIONS THERMIQUES

Chauffage. — Le chauffage électrique domestique (*A. Soulier*) ... 777
Appel aux constructeurs d'appareils de chauffage électrique ... 649
Distribution et tarification du courant électrique pour le chauffage ... 641
Le four électrique (*H. Chaumat*) ... 538
Four Davis, à cuire les électrodes ... 458
Four électrique pour la fabrication du protoxyde de silicium ... 190
Four électrique pour la préparation du carborundum. 181, 183
Fours à carbure de calcium ... 340, 341

Soudure. — Une industrie nouvelle : la soudure électrique (*H.-A. Hornor*) ... 732
Fer à souder électrique, à arc (*L. Conge*) ... 198

ÉCLAIRAGE

Généralités. — L'éclairage électrique au théâtre (*J. Reyval*) ... 133
L'éclairage des écoles (*A. Boutarie*) ... 885
Le rayonnement lumineux du corps noir et l'équivalent mécanique de la lumière (*W.-W. Coblentz* et *W.-B. Emerson*) ... 589
Équations caractéristiques des lampes à filament de tungstène et leur application à la photométrie hétérochrome (*G.-W. Middlekauff* et *J.-F. Skogland*) ... 252
Les tarifs de vente au kilowatt-heure de l'énergie pour éclairage sont devenus insuffisants (*Max Du Bois*) ... 725

Lampes à arc. — Les projecteurs de campagne, par *Gaston Breton* (Bibliographie) ... 42
Diminution, avec l'usage, du rayonnement ultraviolet et du rayonnement total émis par les lampes en quartz à vapeur de mercure (*W. Coblentz, B. Long* et *H. Kahler*) ... 380

Lampes à incandescence. — Du régime de fonctionnement électrique des lampes au tungstène (en atmosphère d'argon) (*H. Pécheux*) ... 683
La fabrication des lampes électriques de poche en France ... 528
Spécifications types pour lampes à incandescence électriques (tungstène et carbone) ... 454
Réflecteurs pour lampes à incandescence groupées .. 141
Jeu d'orgue électrique pour l'éclairage des scènes .. 135
Rampes et herses pour le montage de lampes à incandescence ... 140

ÉLECTROCHIMIE. ÉLECTROMÉTALLURGIE

Généralités. — A propos de l'avenir de l'industrie électrochimique en Suisse (*F. Winteler*) ... 36
Consommation d'énergie électrique dans la fabrication de divers produits de l'Electrochimie et de l'Electrométallurgie (*P. Bunet*) ... 913
La période de transition dans les industries électrochimiques et électrométallurgiques (*Albin Huart*). 427
Influence d'un champ magnétique et d'une agitation mécanique du bain sur la différence de potentiel aux bornes d'une cuve électrolytique (*Toshikazu Mashimo*) ... 17

Électrochimie. Électrométallurgie. — L'industrie de l'azote en Allemagne pendant la guerre (*R.-C. Pierre Jauréguy, H.-B. Froment* et *R.-E. Stéphen*) ... 75
Un nouvel aspect du problème de la fixation de l'azote de l'air ... 810
Sur l'utilisation technique de l'azote de l'air à l'aide de l'arc électrique (*Andriessens*) ... 895
Les carbures, borures et siliciures métalliques (*Jean Escard*) ... 339
L'industrie du zinc électrolytique en Australie ... 642
Sur le traitement électrothermique des minerais de nickel de la Nouvelle-Calédonie ... 162
Les abrasifs électrothermiques (*Jean Escard*) ... 180

ÉLECTRICITÉ MÉDICALE

Technique radiologique, par *Ph. Grillon* (Bibliographie) ... 122

APPLICATIONS DIVERSES

L'électroculture de la pomme de terre ... 897

MESURES ET ESSAIS

Généralités. — Les unités de puissance et de travail d'après un ouvrage récent ... 241
Le vote du projet de loi sur les unités de mesure .. 465
Loi sur les unités de mesure ... 616

Mesures et essais électriques. — Le rôle du Laboratoire central d'Électricité dans les travaux internationaux concernant les unités électriques. 361
Comparaison des capacités par une méthode balistique de zéro. (*Ph. Thomas*) ... 656
Mesure de la capacité dans les câbles armés triphasés en vue de l'évaluation du courant de capacitance (*Raymond Bouzon*) ... 651
Remarque de *M. Brylinski* ... 745
Mesure du rapport de transformation et du déphasage entre primaire et secondaire dans les transformateurs d'intensité, au moyen d'un transformateur annulaire (*H.-S. Baker*) ... 892
Les caractéristiques de l'ampère-heure-mètre à collecteur (*G.-W. Stubbings*) ... 149
Sur un montage des compteurs enregistrant l'énergie des postes triphasés permettant la détermination de l'énergie magnétisante et donnant une plus grande sécurité de bon fonctionnement ... 81
Sur un montage des compteurs enregistrant l'énergie des postes triphasés (*P. Bourguignon*) ... 362
Essai à puissance réduite des alternateurs (*Togna*) 779, 875

Digitized by Google

Méthode pour l'essai des transformateurs (*Francis-B. Silsbee*) 449
Essais de rendement des redresseurs à vapeur de mercure 146
Note sur les essais et mesures relatifs aux lignes électriques (*L. Mouchard*) 352
Mesure de la résistance des joints de talon d'un aiguillage et d'un croisement de voie 97
La résistivité électrique de l'acier trempé (*E.-D. Campbell*) 18

Divers. — Méthode d'enregistrement graphique au moyen d'un jet gazeux (*L. Lumière*) 334
Résultats d'essais d'une nouvelle turbine Francis de Escher-Wyss de 2 500 chevaux 24
Recherche rapide de la tension à laquelle travaille le métal dans les canalisations électriques sous l'effort de traction 26
Sur une nouvelle méthode de mesure des températures élevées (d'après la coloration de la lumière émise par le corps incandescent) (*A. Boutaric*) 210
Un anémomètre électrique facile à construire 428
Der neue Nivellement Horizont der Schweitz (R. P. N. = 373,6 m). (Le nouveau plan de niveau de la Suisse, repère de la Pierre du Niton = 373,6 m.), par *H. Zolly* et *W.-E. Bossard*. (Bibliographie) 580
Méthodes de jaugeage, par *W. Collet*, *R. Mellet* et *O. Lütschg* (Bibliographie) 650

Economie sociale, industrielle, financière, etc.

GÉNÉRALITÉS

Généralités. — L'action économique en Suisse (*Jean Valran*) 400
La situation économique en Allemagne (*A. Raffalovitch*) 400
Les travaux du Conseil supérieur des Travaux publics 569
Arrêté du 21 décembre 1918 fixant les attributions du cabinet du ministre et des services de l'Administration centrale du Ministère de la Reconstitution industrielle 120
Un nouveau périodique : l'Economie nouvelle 466

RICHESSES NATURELLES, PROPRIÉTÉ

Les ressources de l'Amérique en énergie (*Charles P. Steinmetz*) 313
L'énergie hydraulique dans le Massif Central de la France. Bassin de la Dordogne et bassin de la Truyère (*P. Morin*) 219
Les richesses minérales du massif breton 835
La production du pétrole en France (*Emile Chauvin*). 509
Le Maroc en 1918, par *Henry Dugard* 322
Arrêtés du 10 janvier 1919 instituant un Comité d'études et de recherches scientifiques pour l'aménagement et l'utilisation des forces hydrauliques 160

TRAVAIL, TRAVAILLEURS

Le Capital et le Travail en France : les conventions collectives de travail (*Paul Strauss*) 397
Les Affaires et le Personnel, par *L. Chambonnaud* (Bibliographie) 538
Le système Taylor, par *C. Bertrand Thompson* (Bibliographie) 434
Le travail américain pendant la guerre (*C. Cestre*) ... 275
L'organisation administrative du travail aux Etats-Unis pendant la guerre (*Cestre*) 429
Les offices de placement (*Charles Haye*) 277
Les salaires et la vie chère 235
La vie chère et le relèvement des salaires (*R. Dubs* et *B. Gramiger*) 643
Les patrons peuvent-ils être obligés de retenir, sur les salaires dus à leurs ouvriers ou employés, les impôts qui sont réclamés par le fisc (*Paul Bougault*) 709
L'Ouvrier moderne, journal mensuel (Bibliographie). 242
La Femme et l'Enfant, journal bimensuel 162
Loi du 18 février 1919 relative à la corruption des fonctionnaires publics et des employés des entreprises privées 431
Loi du 5 avril 1919 complétant l'article 14 de la loi du 18 décembre 1915 sur les sociétés coopératives ouvrières de production et l'organisation du crédit au travail en France 679
Loi du 25 mars 1919 relative aux conventions collectives de travail 613
Loi du 23 avril 1919 sur la journée de huit heures. 679
Décret du 24 février déterminant les attributions et le fonctionnement de l'Office du travail 431
Décret du 2 avril 1919 portant nomination d'une Commission pour l'attribution d'une médaille d'honneur aux ouvriers et employés pour circonstances résultant de l'état de guerre 647

INDUSTRIE

L'éveil de l'esprit public, par *Henri Fayol* (Bibliographie). Méthodes d'administration à adopter dans l'industrie 242
L'industrie allemande et la guerre, par *R.-C. Pierre Jauréguy*, *H.-B. Froment* et *R.-E. Stephen* (Bibliographie) 82
L'Index des arts industriels (Bibliographie) 778
L'avenir de l'industrie électrique en Roumanie (*Drag. Hurmusescu*) 388
L'industrie électrique en Belgique 532
L'industrie du zinc électrolytique en Australie 642
La concentration industrielle 355
L'organisation économique des transports industriels automobiles (*Emile Belot*) 566
De quelques matières premières nécessaires à l'industrie électrique. Le mica (*Désiré Pector*) .. 673, 701, 735, 769
Loi du 29 avril 1919 relative au maintien à titre définitif des travaux publics exécutés pendant la guerre 744

COMMERCE

Importations et exportations françaises (*Désiré Pector*) 529
Importations et exportations françaises en matériel électrique (*Désiré Pector*) 833
Un système américain d'exportation 357
Les importations de matériel électrique en Espagne. 610
La future exportation allemande 682
Le nouveau régime pour l'obtention soit en France, soit à l'étranger, de marchandises désignées ... 431
Offices commerciaux français à l'étranger 807
L'organisation du crédit à l'exportation par le Groupement économique des Industriels français de Saint-Etienne 531

Digitized by Google

Projet de loi pour ouverture de crédit de cent millions aux petits commerçants démobilisés..... 744
Sur le projet de loi portant modification des articles 419 et 420 du code pénal, pour punir l'accaparement des denrées et marchandises..... 533
Loi du 18 mars 1919 relative à la création d'un Registre du Commerce..... 502
Décret du 24 décembre 1918 réglementant la vente, la circulation et l'emploi du pétrole et de l'essence ainsi que la circulation des véhicules automobiles..... 120
Décret du 18 mars 1919 créant une Commission interministérielle de contrôle des importations et exportations..... 504
Décret du 16 avril 1919 concernant l'admission temporaire des produits étrangers des catégories prohibées..... 904
Décisions publiées au *Journal Officiel* du 5 décembre 1918 concernant la vente et le commerce du magnésium, du ferro-chrome, du ferro-tungstène, du ferro-molybdène, du chlorure de magnésium et du siliciure de calcium..... 119

FINANCES

Des amortissements, par *René Delaporte* (Bibliographie)..... 874
Cours de comptes-courants à intérêts, par *Paul-Louis Martineau* (Bibliographie)..... 579
L'épargne française et ses placements pendant la période d'avant-guerre (*René Pupin*)..... 708
Les conséquences économiques de la guerre aux Etats-Unis..... 707

IMPOTS, DOUANES, ASSURANCES, ETC.

La réclamation contre la patente et le moyen de différer le paiement (*Paul Bougault*)..... 741
Les intérêts des effets moratoires (*Paul Bougault*).. 461
Taxes sur les paiements des droits de statistique et de la valeur des marchandises importées.... 743
Les patrons peuvent-ils être obligés de retenir, sur les salaires dus à leurs ouvriers ou employés, les impôts qui sont réclamés par le fisc (*Paul Bougault*) 709
Les nouveautés de la loi fiscale du 31 décembre 1918 (*Paul Bougault*)..... 155
Application de la loi de finances du 29 juin 1918 (Enregistrement des polices d'abonnement pour la fourniture de gaz, d'électricité et d'air comprimé) (*Deligne*)..... 501
Arrêt de la Cour d'appel de Paris du 16 novembre 1916, relatif aux droits de voirie..... 158

ENSEIGNEMENT, ÉDUCATION, APPRENTISSAGE

L'école d'apprentissage de MM. Thoumyre fils, à Arques-la-Bataille (Seine-Inférieure)..... 356
Les cours de perfectionnement, pour les apprentis de l'industrie électrique..... 321
Le sens pratique dans l'éducation, condition du progrès de la Science et de l'Industrie (*Emile Belot*)..... 118

Législation, Réglementation, Jurisprudence

GÉNÉRALITÉS

Sur l'application des articles 42 et 14 de la loi du 29 juin 1918 aux entreprises de distribution d'énergie électrique (*Gaston Mayer, G. Frenoy* et *L. de la Taste*)..... 37
Notes sur l'application pratique de la loi du 15 juin 1906 et des règlements annexes (*A. Monmerqué*). 79, 237, 573, 773
Application de la loi de finances du 29 juin 1918 (*Deligne*)..... 502
Les nouveautés de la loi fiscale du 31 décembre 1918 (*Paul Bougault*)..... 155
Précis de droit administratif et de droit public, par *Maurice Hauriou* (Bibliographie)..... 746

LOIS, DÉCRETS, ARRÊTÉS

Lois et projets de lois. — Loi du 18 février 1919 relative à la corruption des fonctionnaires publics et des employés des entreprises privées..... 431
Loi du 18 mars 1919 relative à la création d'un Registre du Commerce..... 502
Loi du 5 avril 1919 complétant l'article 14 de la loi du 18 décembre 1915 sur les sociétés coopératives ouvrières de production et l'organisation du crédit au travail en France..... 679
Loi du 29 avril 1919 relative au maintien à titre définitif des travaux publics exécutés pendant la guerre..... 744
Loi relative aux conventions collectives de travail.. 613
Loi du 23 avril 1919 sur la journée de huit heures. 679
Le vote du projet de loi sur les unités de mesure.... 465
Loi sur les unités de mesure..... 616
Sur le projet de loi portant modification des articles 419 et 420 du Code pénal, pour punir l'accaparement des marchandises et denrées..... 533
Projet de loi pour une ouverture de crédit de cent millions aux petits commerçants démobilisés... 744
Décrets. — Décret du 21 novembre 1916. Instructions sur le mode d'application du décret du 21 novembre 1916 à partir du 1er février 1919... 464
Décret du 24 décembre 1918 réglementant la vente, la circulation et l'emploi du pétrole et de l'essence ainsi que la circulation des véhicules automobiles. 120
Décret du 2 février 1919 rendant la direction des réseaux aux administrations qui en sont chargées en temps de paix..... 240
Décret du 10 février 1919 fixant les conditions dans lesquelles les ingénieurs des Arts et Métiers pourront être nommés matelots élèves-mécaniciens, 360
Décret et arrêté du 11 février 1919 concernant l'organisation du Comité d'électricité..... 359
Décret du 23 février 1919 réglementant l'usage des appareils à vapeur..... 464
Décret du 24 février 1919 déterminant les attributions et le fonctionnement de l'Office du Travail.... 431
Décret du 18 mars 1919, créant une Commission interministérielle de contrôle des importations et exportations..... 504
Décret du 16 avril 1919 concernant l'admission temporaire des produits étrangers des catégories prohibées..... 904
Décret du 2 avril 1919 portant nomination d'une Commission pour l'attribution d'une médaille d'honneur aux ouvriers et employés pour circonstances résultant de l'état de guerre..... 647
Arrêtés. — Arrêté du 21 décembre 1918 fixant les attributions du cabinet du ministre et des services

Digitized by Google

de l'Administration centrale du Ministère de la Reconstitution industrielle 120
Arrêtés du 10 janvier 1919, instituant un Comité d'études et de recherches scientifiques pour l'aménagement et l'utilisation des forces hydrauliques 160
Arrêtés des 13 et 14 février 1919 concernant la Commission des distributions d'énergie électrique. 359
Arrêté du 18 février 1919 instituant une conférence interministérielle pour l'étude et la coordination des enseignements 647
Arrêté du 18 mars 1919 fixant les frais de contrôle des distributions d'énergie électrique 536

Circulaires. — Circulaire du 1er septembre 1918 relative aux distributions d'énergie électrique empruntant, autrement que par simple traversée, des voies dépendant de la grande voirie et non affectées à la circulation publique (*A. Claveille*). 39
Circulaire du 8 octobre 1918 relative à la commande des poteaux en bois 40
Circulaire du 10 décembre 1918 recommandant aux préfets de n'accorder l'installation de distributions d'énergie électrique par permission de voirie que sur avis du ministre des Travaux publics et des Transports (*Jules Cels*) 119

JURISPRUDENCE

Le permissionnaire simplement autorisé à fournir la force motrice, à l'exclusion de l'éclairage électrique, peut-il être poursuivi en simple police pour avoir fait, au moyen des mêmes fils, une distribution de lumière ? (*Paul Bourgault*) 901
Conseil d'Etat : Arrêt du 21 février 1919 concernant le relèvement du prix du gaz 680
Conseil d'Etat : Arrêt du 28 février 1919 concernant le relèvement du prix du gaz 711
Conseil d'Etat : Arrêt du 17 mai 1918. Refus de permission de voirie 648
Conseil de préfecture de la Charente, 19 avril 1917 : Simon contre Ville de Ruffec (*Paul Bougault*) ... 534
Cour d'appel de Paris : Arrêt du 16 novembre 1916, relatif aux droits de voirie 158
Cour de cassation : Arrêt du 7 janvier 1919. Lehideux et Cie contre Blum et Lévy (Les intérêts des effets moratoires) 461
Tribunal de Pontoise, 12 décembre 1917. Société d'éclairage, chauffage, force motrice contre Haas (*Paul Bougault*) 576
Tribunal de Saint-Amand-Montrond, 7 mars 1918 : Compagnie Le Centre électrique contre Jacquet (*Paul Bougault*) 613

Divers

SOCIÉTÉS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

Académie des Sciences. — Séance du 23 déc. 1918. 52
Election à l'Académie des Sciences : Daniel Berthelot 322
Analogies entre les équations de l'électrodynamique et celles de l'hydrodynamique (*L. Faure*) 548
Sur les coups de bélier dans les conduites de diamètre variable (*G. Guillaumain*) 549
Conditions à remplir lorsqu'on veut, dans une installation hydraulique, augmenter le débit, et par suite le travail, sans modifier la conduite (*le comte de Sparre*) 687
Sur les coups de bélier dans les conduites de diamètre variable et formées de parties tronconiques (*G. Guillaumin*) 719
La détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur, par Sadi-Carnot (*L. Décombe*) 442
Comment Carnot a calculé l'équivalent mécanique de la chaleur. Un document inédit (*C. Raveau*) .. 511
Propriétés physiques de la vapeur de pétrole (*J. Rey*). 513
Comparaison entre l'équilibre élastique interne des alliages, après trempe et après écrouissage, par étirage à froid (*A. Portevin*) 52
L'organisation économique des transports industriels automobiles (*Emile Belot*) 566
Sur la production d'un courant continu par application d'une force électromotrice alternative à un voltamètre à électrodes de platine (*P. Vaillant*). 593
Sur la polarisation en courant alternatif (*P. Vaillant*). 722
Sur une analogie électro-technique des oscillations entretenues (*P. Janet*) 721
Sur la mesure en valeur absolue des périodes des oscillations électriques de haute fréquence (*Henri Abraham* et *Eugène Bloch*) 855
Sur une modification à la méthode fluorométrique de mesure des rayons X et son application à la mesure du rayonnement des ampoules Coolidge (*R. Biquard*) 819
Associations de chimie. — La conférence interalliée des Associations de chimie 580, 623
Association française pour l'avancement des Sciences. — Les conférences de l'Association française pour l'avancement des sciences en 1917-1918 (Bibliographie) 618
Commission électrotechnique internationale. — La Commission électrotechnique internationale. 433
Les travaux de la Commission électrotechnique internationale 682
Comité électrotechnique français. — Séance du 12 décembre 1918 166
Comité d'Électricité. — Décret et arrêté du 11 fév. 1919 concernant l'organisation du Comité d'électricité 359
Commission des Distributions d'énergie électrique. — Arrêtés des 13 et 14 février 1919 concernant la Commission des distributions d'énergie électrique 359
Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. — La fabrication des lampes électriques de poche en France (*L. Lindet*) 528
Conférences de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale 2
Conseil supérieur des Travaux publics. — Les travaux du Conseil supérieur des Travaux publics. 569
Société des Ingénieurs civils. — Séance du 28 mars 1919. — Les lampes amplificatrices (Audions) (*H. Abraham*). — Les chauffages centraux de grande importance. Utilisation du chauffage comme régulateur de charge des centrales électriques (*A. Beaurienne*) 506
Société française de Physique. — Sur les coefficients d'aimantation des gaz paramagnétiques et la théorie du magnéton (*Edmond Bauer* et *Auguste Piccard*) 514
Sur les coefficients d'aimantation des gaz paramagnétiques et la théorie du magnéton (*Paul Langevin*) 720

Digitized by Google

Société française des Électriciens. — L'avenir de l'industrie électrique en Roumanie (*D. Hurmuzescu*). 388
Sur certains modes d'emploi du collecteur en courant polyphasé (*Gratzmuller*). 842
Étude sur la marche en parallèle des alternateurs (*M. de Marchena*). 405
Sur les machines à haute fréquence et leur réglage (*J. Béthenod*). 787
Les alternateurs à haute fréquence (*Marius Latour*). 557
Recherches sur le fonctionnement chimique de l'accumulateur au plomb (*Ch. Féry*). 627
Le chemin de fer électrique à écartement de 0 m. 60 (*L. Esbran*). 603
Programme d'électrification partielle des chemins de fer français. Expérience actuellement acquise dans l'électrification des chemins de fer (*A. Mauduit*) 402, 930
La grande traction électrique (*N. Mazen*). 713
Séance du 9 janvier 1919. — Un point rétrospectif dans l'histoire des unités électriques (*Paul Janet.*) — La marche en parallèle des alternateurs (*de Marchena*). — L'avenir de l'industrie électrique en Roumanie (*Hurmuzescu*). 162
Séance du 5 février 1919 : Remarques sur le fonctionnement des machines polyphasées à collecteur (*P. Ehrmann*). — Recherches sur le fonctionnement chimique de l'accumulateur au plomb (*Ch. Féry*). — Les alternateurs à haute fréquence (*Marius Latour*). 401
Séance du 5 mars 1919 : Expérience actuellement acquise dans l'électrification des chemins de fer (*A. Mauduit*). 402
Séance du 7 mars 1919 : La grande traction électrique (*N. Mazen*). — Les progrès récents de la téléphonie sans fil (*C. Gutton*) 713
Séance du 4 juin 1919 : Sur certains modes d'emploi du collecteur en courant polyphasé (*Gratzmuller*). — Les systèmes actuels en télégraphie rapide (*Montoriol*) 842

Association suisse des Electriciens. — Calcul des transformateurs tenant compte des prescriptions légales (*E. Wirz*) 568
Sur l'utilisation technique de l'azote de l'air à l'aide de l'arc électrique (*Andriessens*). 895
Distribution et tarification du courant électrique pour le chauffage. 641

American Institute of electrical Engineers. — Revue critique de la bibliographie relative à l'attraction magnétique déséquilibrée dans les machines dynamo-électriques (*Alexandre Gray* et *J.-G. Pertsch*). 923
L'attraction magnétique dans les machines électriques (*E. Rosenberg*). 925
Mesure du rapport de transformation et du déphasage entre primaire et secondaire dans les transformateurs d'intensité, au moyen d'un transformateur annulaire (*H.-S. Baker*). 892
Considérations sur le rendement, dans les installations électriques (*Rice*). 35
Application de la théorie et de la pratique à la construction des isolateurs des lignes de transmission (*G.-J. Gilchrest*). 63
Effets d'induction produits par le courant alternatif de traction sur les lignes téléphoniques et télégraphiques (*N.-S. Warren*). 175
Conception physique du fonctionnement du moteur asynchrone monophasé (*B.-G. Lamme*). 191
La réactance des machines synchrones et ses applications (*R.-E. Doherty* et *O.-E. Shirley*). 302
Le parafoudre à pellicule d'oxyde (*Crosby Field* et *Ch.-P. Steinmetz*). 388
Une industrie nouvelle : la soudure électrique (*H.-A. Hornor*). 732

Institution of electrical Engineers. — Utilisation de courants triphasés pour la production du courant monophasé (*Walker*). 864
Quelques phénomènes de transition dans les systèmes de distribution électrique (*E.-W. Marchant*). ... 45
Les balais en charbon (*P. Hunter-Brown*). 729

Bureau of Standards. — Méthode pour l'essai des transformateurs (*Francis-B. Silsbee*). 449
Oscillations électriques dans les antennes et les bobines inductrices (*John M. Miller*). 879
Spécifications types pour lampes à incandescence électriques (tungstène et carbone). 454
Equations caractéristiques des lampes à filament de tungstène et leur application à la photométrie hétérochrome (*G.-W. Middlekauff* et *J.-F. Skogland*) 252

Syndicat des constructeurs et exploitants des moteurs à gaz à combustion interne. — Création du syndicat. 161

Chambre syndicale des Constructeurs de Gros matériel électrique. — Normalisation des groupes électrogènes à vapeur. 517, 551

SOCIÉTÉS INDUSTRIELLES, COMMERCIALES, FINANCIÈRES

Banque française pour le Commerce et l'Industrie. — Assemblée générale ordinaire de 1918. 77

Banque nationale de Crédit. — Assemblée générale ordinaire du 5 juin 1919. 936

Compagnie anonyme continentale pour la fabrication des Compteurs à gaz et autres Appareils. — Assemblée générale extraordinaire du 25 janvier 1919. 460

Compagnie centrale d'éclairage par le gaz, Lebon et Cie. — Assemblée générale ordinaire du 28 mars 1919. 646

Compagnie centrale d'éclairage et de transport de force par l'électricité (Compagnie d'Électricité de Limoges). — Assemblée générale ordinaire du 28 avril 1919. 772

Compagnie générale d'Électricité. — Assemblée générale ordinaire du 20 décembre 1918. 279

Compagnie générale d'Éclairage de Bordeaux. — Assemblée générale ordinaire du 27 décembre 1918 357

Compagnie électrique de la Loire et du Centre. — Assemblée générale ordinaire du 26 novembre 1918 153

Compagnie générale de Télégraphie sans fil. — Assemblée générale extraordinaire du 15 mai 1919. 901

Compagnie générale des Câbles de Lyon. Ancienne Société française des Câbles électriques, système Berthoud, Borel et Cie. — Assemblée générale du 13 juin 1919. 935

Compagnie générale française et continentale d'Éclairage. — Assemblée générale ordinaire du 27 janvier 1919. 459

Compagnie générale de Travaux d'éclairage et de force (anciens établissements Clemançon). — Assemblée générale extraordinaire du 15 janvier 1919. 320

Compagnie générale de travaux d'Éclairage et

Digitized by Google

de Force (anciens établissements Clemançon. — Assemblée générale ordinaire du 30 avril 1919 772

Compagnie générale parisienne de Tramways. — Assemblée générale ordinaire du 29 avril 1919. 871

Compagnie des Tramways électriques de Limoges. — Assemblée générale ordinaire du 28 avril 1919..... 840

Compagnie l'Union du Gaz. — Assemblée générale ordinaire du 27 janvier 1919..... 500

Compagnie des Tramways de Roubaix et de Tourcoing. — Assemblée générale extraordinaire du 21 mars 1919..... 612

Comptoir national d'Escompte de Paris. — Assemblée générale ordinaire du 28 avril 1919. 740

Electro-Entreprise. — Assemblée générale extraordinaire du 25 mars 1919..... 611

Électricité et Gaz du Nord. — Assemblée générale ordinaire du 7 décembre 1919..... 611

Énergie électrique du Nord de la France. — Assemblée générale du 10 janvier 1919..... 154

Énergie électrique du Sud-Ouest. — Assemblée générale ordinaire du 2 mai 1919..... 899

Est-Lumière (Compagnie d'Électricité de l'Est-Parisien). — Assemblée générale ordinaire du 23 décembre 1918..... 199

Est-Lumière. — Assemblée générale extraordinaire du 26 mars 1919..... 571

Établissements Paz et Silva. — Assemblée générale ordinaire du 14 décembre 1918..... 199

Forges et Ateliers de la Longueville. — Assemblée générale ordinaire du 17 mars 1919..... 499

L'Électrique Lille-Roubaix-Tourcoing. — Assemblée générale extraordinaire du 14 mars 1919.. 646

L'Oxhydrique française. — Assemblée générale ordinaire du 1er février 1919..... 459

L'Union électrique. — Assemblée générale ordinaire du 20 décembre 1918..... 358

Omnium français d'électricité. — Assemblée générale ordinaire du 12 décembre 1918..... 319

Omnium Lyonnais de Chemins de fer et Tramways. — Assemblée générale ordinaire du 28 novembre 1918..... 77

Société anonyme Westinghouse. — Assemblée générale ordinaire du 25 juin 1919..... 899

Société avignonnaise d'Électricité. — Assemblée générale ordinaire du 24 avril 1919..... 838

Société d'Électricité de Paris. — Assemblée générale ordinaire du 20 décembre 1918..... 278

Société des Forces du Fier. — Assemblée générale ordinaire du 25 avril 1919..... 935

Société des Forces motrices de la Haute-Durance. — Assemblée générale ordinaire du 2 mai 1919. 840

Société des Forces motrices de la Loire. — Assemblée générale ordinaire du 26 décembre 1918..... 319

Société des Forces motrices de la Vienne. — Assemblée générale extraordinaire du 28 février 1919 531

Société des Forces motrices de la Vis. — Assemblée générale ordinaire du 13 mai 1919..... 839

Société générale de Forces motrices et d'Éclairage de la ville de Grenoble. — Assemblée générale ordinaire du 30 avril 1919..... 808

Société générale pour favoriser le développement du Commerce et de l'Industrie en France. — Assemblée générale ordinaire du 27 mars 1919..... 572

Société industrielle d'Énergie électrique. — Assemblée générale ordinaire du 9 décembre 1918. 77

Société industrielle des Téléphones. — Assemblée générale ordinaire du 18 décembre 1918..... 200

Société nimoise de l'Électricité. — Assemblée générale ordinaire du 18 mai 1919..... 839

Société norvégienne de l'Azote et de Forces hydroélectriques. — Assemblée générale ordinaire du 25 novembre 1918..... 236

Société roubaisienne d'Éclairage par le Gaz et l'Électricité. — Assemblée générale du 10 janvier 1919..... 154

Sud-Électrique. — Assemblée générale ordinaire du 17 décembre 1918..... 153

Tréfileries et Laminoirs du Havre (anciens Établissements Lazare Weiller, Société coopérative de Rugles et La Canalisation électrique réunis). — Assemblée générale ordinaire du 28 décembre 1918..... 279

ÉTABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHES

Conservatoire national des Arts et Métiers. — Conférence du 30 mars 1919 : Le four électrique (*H. Chaumat*)..... 538

École des Arts et Métiers. — Décret du 10 février 1919 fixant les conditions dans lesquelles les ingénieurs des Arts et Métiers pourront être nommés matelots élèves-mécaniciens..... 360

École supérieure d'Électricité de Paris. — L'École supérieure d'Electricité et l'Université. 281
L'enseignement de la télégraphie sans fil à l'École supérieure d'Electricité..... 401, 506

Laboratoire central d'Électricité. — Le rôle du Laboratoire central d'Electricité dans les travaux internationaux concernant les unités électriques. 361
Arrêté du 18 février 1919 instituant une conférence interministérielle pour l'étude et la coordination des enseignements..... 647

BIOGRAPHIE, NÉCROLOGIE, ETC.

Biographie. — Le général Ferrié..... 649
C. Gutton, professeur à la Faculté des Sciences de Nancy..... 617

Légion d'honneur. — Nomination de M. A. Blondel, membre de l'Institut, au grade d'officier de la Légion d'honneur..... 162
Nomination de M. H. Armagnat au grade de chevalier de la Légion d'honneur..... 82
Nomination de M. E. Fontaine au grade de chevalier de la Légion d'honneur..... 434
Nomination de M. E. Payen au grade de chevalier de la Légion d'honneur..... 538
Nomination de M. Marcel Meyer au grade de chevalier de la Légion d'honneur..... 618
Nominations de MM. Paul Langevin et A. Egnell au grade de chevalier de la Légion d'honneur..... 682

Nécrologie. — Xavier-Georges-Frédéric Devaux-Charbonnel (*colonel J.-B. Pomey*)..... 577
Sir William Crookes..... 681

Digitized by Google

CONGRÈS, EXPOSITIONS, ETC.

Exposition d'usines ne déparant pas le paysage .. 905
Exposition en Corogne 906

BIBLIOGRAPHIE, OUVRAGES RÉCENTS

Les applications de la Physique pendant la guerre, par *H. Vigneron* 810
Géométrie infinitésimale vectorielle, par *A. Eguell.* 745
Lettres à l'Académie des Sciences sur l'unification des forces et des phénomènes de la nature, par *Alfred Lartigue* 746
Les conférences de l'Association française pour l'avancement des sciences en 1917-1918 618
Der neue Nivellement-Horizont der Schweitz (R. P. N. = 373,6 m.). (Le nouveau plan de niveau de la Suisse, repère de la Pierre du Niton = 373,6 m.), par *H. Zolly* et *W.-E. Bossard* 580
Méthodes de jaugeage, par *Léon-W. Collet* et *O. Lütschg* 650
Vers la houille blanche ; Motoculture et Electro-motoculture, par *Albert Turpain* 810
Comment s'est fait l'aménagement des chutes d'eau en France, par *J. Tribot-Laspière* 282
Sur les données actuelles en matière de construction d'usines hydro-électriques, par *Denis Eydoux* ... 434
L'économie du charbon dans les chaudières, par *Emile Serieye* 2
La tourbe et son utilisation, par *Pierre de Montgolfier* 362
Recherches sur les tourbières et l'industrie de la tourbe au Canada en 1911-1912, par *Anrep* 650
Les moteurs à explosion dans l'aviation, par *A. Masmejean* et *E. Bérèbare* 362
Origine et évolution de la soufflerie, par *Ch. Frémont.* 810
Le contrôle technique à l'Usine (métaux), par *H. Rouet* et *F. Cotto* 282
Formulaire de l'Electricien et du Mécanicien, par *E. Hospitalier* et *G. Roux* 579
Le fraisage. — La fraise. Les machines à fraiser. Les machines à tailler les engrenages. Exemples de travaux de fraisage, par *Maurice Varinois* 580
Les tours. — Construction, essais, emplois, exemples pratiques de travaux, par *O. Perrigo* 580
Calcul des ressorts. Formules pratiques et barèmes, par *E. Desgardes* 580
La vérification des pièces interchangeables, par *Paul Négrier* 580
Mc Graw Central Station List 1918 (Répertoire des stations centrales des Etats-Unis de Mac Graw) .. 322
On the Lichtenberg Figures (Sur les figures de Lichtenberg), par *P.-O. Pedersen* 778
Le courant alternatif, par *R. Swyngedauw* 202
Schémas et règles pratiques de bobinage des machines électriques, par *F. Torices* et *A. Curchod* 746
Théorie des enroulements des machines à courant continu, par *G. Szarvady* 842
Memento à l'usage des grades et sapeurs du 8e régiment du Génie, par *le lieutenant Jacob* 362
Les projecteurs de campagne, par *Gaston Breton* ... 42
La télégraphie sans fil. La téléphonie sans fil. Applications diverses, par *G.-E. Petit* et *Léon Bouthillon* 874
Technique radiologique, par *Ph. Grillon* 122
Le Maroc en 1918, par *Henry Dugard* 322
Le système Taylor, par *C.-Bertrand Thompson* 434
Les Affaires et le Personnel, par *L. Chambonnaud* .. 538
L'industrie allemande et la guerre, par *R.-C. Pierre Jauréguy, H.-B. Froment* et *R.-E. Stéphen* 82
L'éveil de l'esprit public, par *Henri Fayol.* Méthodes d'administration à adopter dans l'industrie 242
Des amortissements, par *René Delaporte* 874
Précis de droit administratif et de droit public, par *Maurice Haurion* 746
Cours de comptes-courants à intérêts, par *Paul-Louis Martineau* 579
Périodiques. Annuaires. — La « R. G. E. » en 1918 1
La deuxième assemblée générale de la « R. G. E. » .. 873
L'Index des Arts industriels 778
Un nouveau périodique : l' « Economie nouvelle » 466
L' « Ouvrier moderne », journal mensuel 242
La Vie automobile 434
La « Femme et l'Enfant », journal bimensuel 162
Annuaire du Bureau des Longitudes pour l'année 1919 202
Annuaire de la houille blanche française, par *A. Powlowski* 122
Errata de la « R. G. E. ». — Erratum du t. IV, p. 1.021 : Les débouchés de l'industrie électrique en Belgique (*Fièvez*) 240
Erratum du t. IV, p. 941 : Diagramme des moteurs polyphasés asynchrones tenant compte de la saturation magnétique (*J. Bethenod*) 320
Erratum du t. IV, p. 901 : Echelles de température pour le tungstène et le carbone (*Hyde, Cady* et *Forsythe*) 536
Erratum du t. IV, p. 52 B : Réponse à la question 48. 536
Erratum du t. V, p. 367 : Note sur les coups de bélier au vannage et les lois non linéaires de fermeture et d'ouverture rapides (*Ed. Carey*) 536
Erratum du t. V, p. 579 : Application du calcul symbolique à l'intégration des équations différentielles linéaires simultanées et à la résolution de certains problèmes de mécanique (*H. Vogt*) ... 678
Erratum du t. V, p. 3 : Emploi des moteurs synchrones pour améliorer le facteur de puissance (*Paul Vieunier*) 678
Erratum du t. V, p. 571 : Assemblées générales, lire *Est électrique* au lieu de Est-Lumière 678
Erratum du t. V, p. 643 : La vie chère et le relèvement des salaires 776

VARIÉTÉS

Sur l'orthographe d'un mot technique : cation (*J.-B. Pomey*) 242
Sur l'orthographe des mots techniques 778
Les unités de puissance et de travail d'après un ouvrage récent 241
La réponse des électriciens belges au manifeste des 93 intellectuels allemands 537

Digitized by Google

TABLE DES NOMS D'AUTEURS

ABRAHAM (H.). — Les lampes amplificatrices (Audions) 506

ABRAHAM (Henri) et BLOCH (Eugène). — Sur la mesure en valeur absolue des périodes des oscillations électriques de haute fréquence..... 855

ADER. — Appareil récepteur pour télégraphie sous-marine 798

ALLAN. — Voir *Brown* et *Allan*..... 799

ANDRIESSENS. — Sur l'utilisation technique de l'azote de l'air à l'aide de l'arc électrique..... 895

ARMAGNAT (H.). — Nomination au grade de chevalier de la Légion d'honneur..... 82

ARMSTRONG (E.-H.). — Voir *Pupin* (*M.-I.*) et *Armstrong* (*E.-H.*)..... 270

AUREP. — Recherches sur les tourbières et l'industrie de la tourbe au Canada en 1911-1912 (Bibliographie)..... 650

BAKER (H.-S.). — Mesure du rapport de transformation et du déphasage entre primaire et secondaire dans les transformateurs d'intensité au moyen d'un transformateur annulaire..... 892

BARBAGELATA (Angelo). — Sur un montage des compteurs enregistrant l'énergie des postes triphasés permettant la détermination de l'énergie magnétisante et donnant une plus grande sécurité de bon fonctionnement..... 81

BATICLE (E.). — Le calcul des intensités dans les transformateurs disposés suivant le montage de Scott et ses conséquences au point de vue de la puissance maximum admissible..... 519

BAUER (Edmond) et PICCARD (Auguste). — Sur les coefficients d'aimantation des gaz paramagnétiques et la théorie du magnéton..... 514

BEAURIENNE (A.). — Les chauffages centraux de grande importance. Utilisation du chauffage comme régulateur de charge des centrales électriques 506

BELOT (Émile). — Le sens pratique dans l'éducation, condition du progrès de la Science et de l'Industrie 118

— L'organisation économique des transports industriels automobiles..... 566

BÉRÉHARE (E.). — Voir *Masmejean* (*A.*) et *Bérehare* (*E.*)..... 362

BERGMANN (S.-R.). — Une dynamo à courant continu fonctionnant à tension constante sous des vitesses variables 354

BERTHELOT (Daniel). — Élection à l'Académie des Sciences..... 322

BERTHON (Michel). — Transmission d'énergie électrique de Bourges à l'arsenal américain de Beauvoir 445

BETHENOD (J.). — Sur le réglage de la vitesse des moteurs d'induction par couplage en cascade. A propos de l'article de G. Darrieus, p. 257-265. 538

— Sur les machines à haute fréquence et leur réglage. 787

BIQUARD (R.). — Sur une modification à la méthode fluorométrique de mesure des rayons X et son application à la mesure du rayonnement des ampoules Coolidge..... 819

BLOCH (Eugène). — Voir *Abraham* (*Henri*) et *Bloch* (*Eugène*)..... 855

BLONDEL (A.). — Nomination au grade d'officier de la Légion d'honneur..... 162

— A propos du freinage et de la récupération avec les moteurs à collecteur..... 81

— Récepteur à résonance pour télégraphie sous-marine 801

BLONDEL (A.) et CARBENAY (F.). — Méthode d'analyse expérimentale des propriétés des alternateurs 814, 843

BOSSARD (W.-E.). — Voir *Zolly* (*H.*) et *Bossard* (*W.-E.*) 580

BOUCHEROT (P.). — A propos des systèmes $\frac{U_1}{I_2} =$ constante 203

BOUGAULT (Paul). — Jurisprudence. — Tribunal de Saint-Amand-Montrond, 7 mars 1918. — Compagnie le Centre électrique contre Jacquet..... 613

— Jurisprudence. — Conseil de Préfecture de la Charente 19 avril 1917. — Simon contre ville de Ruffec..... 534

— Jurisprudence. — Tribunal de Pontoise, 12 décembre 1917. — Société d'éclairage, Chauffage, Force motrice contre Haas..... 576

— Les nouveautés de la loi fiscale du 31 décembre 1918 155

— Les intérêts des effets moratoires..... 461

— La réclamation contre la patente et le moyen de différer le paiement..... 741

— Les patrons peuvent-ils être obligés de retenir, sur les salaires dus à leurs ouvriers ou employés, les impôts qui sont réclamés par le fisc?..... 709

Digitized by Google

— Le permissionnaire simplement autorisé à fournir la force motrice à l'exclusion de l'éclairage électrique peut-il être poursuivi en simple police pour avoir fait, au moyen des mêmes fils, une distribution de lumière? ... 901

Bourguignon (P.). — Sur un montage des compteurs enregistrant l'énergie des postes triphasés. 362

Boutaric (A.). — Sur une nouvelle méthode de mesure des températures élevées (d'après la coloration de la lumière émise par le corps incandescent) ... 210
— L'éclairage des écoles ... 885

Bouthillon (Léon). — Voir *Petit* (*G.*) et *Bouthillon* (*Léon*) ... 874

Bouzon (Raymond). — Étude de la résistance effective, de l'indépendance de la self-induction et des pertes de puissance dans un câble armé monophasé ... 403
— Mesure de la capacité dans les câbles armés triphasés en vue de l'évaluation du courant de capacitance ... 651

Breton (Gaston). — Les projecteurs de campagne (Bibliographie) ... 42

Brown. — Relais de câble sous-marin ... 799

Brown (C.-L.). — Modification partielle de groupes moteurs-génératrices transformant du courant continu ... 304

Brown et Allan. — Relais pour câble sous-marin. 799

Brylinski (E.). — État permanent sur une ligne parcourue par un courant sinusoïdal ... 323
— Mesure de la capacité dans les câbles armés triphasés en vue de l'évaluation du courant de capacitance ... 745

Bunet (P.). — Installations hydro-électriques de grande puissance en courant continu ... 822
— Consommation d'énergie électrique dans la fabrication de divers produits de l'électrochimie et de l'électrométallurgie ... 913

Butman (Chester-Arthur). — Caractéristiques des diélectriques ... 653

Byl (H.-I. Van der). — Théorie de l'amplificateur thermo-ionique ... 289

Camichel (C.), Eydoux (D.) et Gariel (M.). — Étude sur les maxima de surpression dans les phénomènes de coups de bélier ... 243

Campbell (E.-D.). — La résistivité électrique de l'acier trempé ... 18

Carbenay (F.). — Voir *Blondel* (*A.*) et *Carbenay* (*F.*), 811, 843

Carey (Ed.). — Note sur la courbe des coups de bélier au vannage et les lois non linéaires de fermeture et d'ouverture rapides ... 367

Carson (John-R.) et Pomey (J.-B.). — Oscillations électriques sous l'action de forces données de forme quelconque ... 715

Carter (Edna) et King (Arthur S.). — Nouvelles observations relatives à la production des spectres métalliques par luminescence cathodique ... 856

Cestre (C.). — Le travail américain pendant la guerre ... 275
— L'organisation administrative du travail aux États-Unis pendant la guerre ... 429

Chambonnaud (L.). — Les Affaires et le Personnel, (Bibliographie) ... 538

Charpentier (G.). — A propos des déprédations commises contre les réseaux électriques ... 121

Charron. — Récepteur à résonance hydrodynamique pour télégraphie sous-marine ... 801

Chaumat (H.). — Le four électrique ... 538

Chauvin (Émile). — La production du pétrole en France ... 509

Claveille (A.). — Circulaire du 1er septembre 1918 relative aux distributions d'énergie électrique empruntant, autrement que par simple traversée, des voies dépendant de la grande voirie et non affectées à la circulation publique ... 39

Coblentz (W.-W.) et Emerson (W.-B.). — Le rayonnement lumineux du corps noir et l'équivalent mécanique de la lumière ... 589
— Pouvoir réflecteur du tungstène et de la stellite. 642

Coblentz (W.-W.), Long (B.) et Kahler (H.). — Diminution avec l'usage du rayonnement ultraviolet et du rayonnement total émis par les lampes en quartz à vapeur de mercure ... 380

Collet (Léon-W.), Mellet (R.) et Lutschg (O.). — Méthodes de jaugeage (Bibliographie) ... 650

Conge (L.). — Fer à souder électrique à arc ... 198

Cooke (C.-F.). — L'électricité en agriculture ... 567

Cotto (F.). — Voir *Rouet* (*H.*) et *Cotto* (*F.*) ... 282

Crane (J.-B.). — L'emploi de l'électricité dans les mines d'anthracite ... 805

Croft (Terrel). — Le halage des conducteurs électriques dans les conduites ... 934

Crookes (Sir William). — Nécrologie ... 681

Curchod. — Voir *Torcies* (*F.*) et *Curchod* (*A.*) ... 746

Darrieus (G.). — Réglage de la vitesse des moteurs d'induction par couplage en cascade ... 257
— Sur le réglage de la vitesse des moteurs d'induction par couplage en cascade. Réponse à une note de M. J. Bethenod ... 618

Davis. — Four à cuire les électrodes ... 458

Décombe (L.). — La détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur par Sadi-Carnot ... 442
— La conservation de l'électricité et la théorie électronique ... 443

Delamarre (Ach.). — Le labourage électrique dans la région de Meaux ... 307
— L'avenir du labourage électrique et le remembrement de la propriété rurale ... 795
— Les treuils de labourage ... 487

Delaporte (René). — Des amortissements (Bibliographie) ... 874

Deligne. — Application de la loi de finances du 29 juin 1918 ... 502

Deschamps (Jacques). — Chariots transporteurs électriques pour manutention ... 117

Desgardes (E.). — Calcul des ressorts. Formules pratiques et barèmes (Bibliographie) ... 580

Devaux-Charbonnel (Xavier-Georges-Frédéric). — Nécrologie (*J.-B. Pomey*) ... 577

Doherty (E.-R.) et Shirley (O.-E.). — La réactance des machines synchrones et ses applications ... 302

Dubar (L.). — Note sur l'onde fondamentale et les

Digitized by Google

harmoniques dans une antenne homogène et dans une antenne non homogène 284

Du Bois (Max). — Les tarifs de vente au kilowatt-heure de l'énergie pour éclairage sont devenus insuffisants 725

Dubs (R.) et Gramiger (B.). — La vie chère et le relèvement des salaires 643

Dudding. — Voir *Paterson* et *Dudding* 210

Dugard (Henry). — Le Maroc en 1918 (Bibliographie) 322

Dusaugey (E.). — Sur l'emploi de l'aluminium dans l'industrie de l'électricité 28, 53

Egnell (A.). — Nomination au grade de chevalier de la Légion d'honneur 682
— Géométrie infinitésimale vectorielle (Bibliographie) 745

Emerson (W.-B.). — Voir *Coblentz* (*W.-W.*) et *Emerson* (*W.-B.*) 589, 642

Escard (Jean). — Les abrasifs électrothermiques. 180
— Les carbures, borures et siliciures métalliques... 339

Eydoux (Denis). — Sur les données actuelles en matière de construction d'usines hydro-électriques (Bibliographie) 434
— Voir *Camichel* (*C.*), *Eydoux* (*D.*) et *Gariel* (*M.*). 243

Faure (E.). — Analogies entre les équations de l'électrodynamique et celles de l'hydrodynamique... 548

Fayol (Henri). — L'éveil de l'esprit public (Bibliographie) 242

Ferrié (Général). — Notice biographique 649

Féry (Ch.). — Recherches sur le fonctionnement chimique de l'accumulateur au plomb 627

Field (Crosby) et Steinmetz (Ch.-P.). — Le parafoudre à pellicule d'oxyde 393

Fontaine (E.). — Nomination au grade de chevalier de la Légion d'honneur 434

Foote (Paul-D.), Rognley (O.) et Mohler (F.-L.). — Potentiels d'ionisation et de résonance relatifs aux électrons dans les vapeurs d'arsenic, de rubidium et de cæsium 794

Frémont (Ch.). — Origine et évolution de la soufflerie (Bibliographie) 810

Froment (H.-B.). — Voir *Jauréguy* (*Pierre R.-C.*), *Froment* (*H.-B.*) et *Stéphen* (*R.-E.*) 75, 82

Frenoy (G.). — Voir *Mayer* (*Gaston*), *Frenoy* (*G.*) et *Taste* (*L. de la*) 37

Gariel (M.). — Sur les formules donnant le maximum du coup de bélier 201
— Voir *Camichel* (*C.*), *Eydoux* (*D.*) et *Gariel* (*M.*).. 243

Genkin (W.). — Sur la théorie des machines asynchrones à champ elliptique 539

Gilchrest (G.-J.). — Application de la théorie et de la pratique à la construction des isolateurs de lignes de transmission 63

Girdlestone (J.-O.). — Porte-balai pour balais au charbon 804

Gouédard (R.). — Considérations sur l'utilisation de la force motrice des marées 491

Gramiger (B.). — Voir *Dubs* (*R.*) et *Grämiger* (*B.*). 643

Gratzmuller. — Sur certains modes d'emploi du collecteur en courant polyphasé 842

Gray (Alexandre) et Pertsch (J.-G.). — Revue critique de la biographie relative à l'attraction magnétique désiquilibrée dans les machines dynamo-électriques 923

Grillon (Ph.). — Technique radiologique (Bibliographie) 122

Grospaud (M.). — Prime au personnel sur les économies de charbon dans une centrale électrique thermique 58

Guerner (Jean). — Les turbines à vapeur de grandes puissances 227

Guillaumain (G.). — Sur les coups de bélier dans les conduites de diamètre variable 549
— Sur les coups de bélier dans les conduites de diamètre variable et formées de parties tronconiques. 719

Gulstad (K.). — Relais pour câble sous-marin 799

Gutton (C.). — Biographie 617
— La lampe-valve à trois électrodes 629

Gutton et Touly. — Oscillations électriques non amorties de courte longueur d'onde 415

Hahn (E.). — Note sur la vitesse critique des arbres. Formule de Dunkerley 123

Haurion (Maurice). — Précis de droit administratif et de droit public (Bibliographie) 746

Haye (Charles). — Les offices de placement 277

Heaps (C.-W.). — Relation entre certains phenomènes galvanométriques 217

Hély (Jean). — Recherche rapide de la tension à laquelle travaille le métal dans les canalisations électriques sous l'action de l'effort de traction... 26

Heurtley et Orling. — Relais pour télégraphie sous-marine 798

Hornor (H.-A.). — Une industrie nouvelle : la soudure électrique 732

Hospitalier (E.) et Roux (G.). — Formulaire de l'Électricien et du Mécanicien (Bibliographie) 579

Huart (Albin). — La période de transition dans les industries électrochimiques et électrométallurgiques 427

Hunt (F.-L.). — Voir *Menk* (*Chas.-A.*) et *Hunt* (*F.-L.*) 726

Hunter-Brown (P.). — Les balais en charbon 729

Hurmusescu (Drag.). — L'avenir de l'industrie électrique en Roumanie 388

Ives (James-E.). — Influence d'un champ magnétique transversal sur la décharge à travers un tube de Geissler 88

Jacob (Lieutenant). — Memento à l'usage des gradés et sapeurs du 8e régiment du Génie (Bibliographie). 362

Janculesco (C.). — La commutation automatique dans la téléphonie à longue distance 595

Janet (P.). — Sur une analogie électrotechnique des oscillations entretenues 721

Jauréguy (R.-C. Pierre), Froment (H.-B.) et Stéphen (R.-E.). — L'industrie de l'azote en Allemagne pendant la guerre 75
— L'industrie allemande et la guerre (Bibliographie). 82

Jewett (Frank-B.). — Téléphonie et télégraphie multiplex 67

Johannès (G.). — L'émission thermoélectrique et ses applications. Le kénotron 857

Digitized by Google

JONES (E.-Taylor). — Bobine d'induction, potentiel secondaire à la fermeture 87

KAHLER (H.). — Voir *Coblentz* (*W.-W.*), *Long* (*B.*) et *Kahler* (*H.*) 380

KAY (T.-C.-Mac). — Voir *Weber* (*H.-C.-P.*) et *Kay* (*T.-C.-Mac*) 718

KING (Arthur-S.). — Voir *Carter* (*Edna*) et *King* (*Arthur-S*) 856

KOHLER (E.). — Projet d'une ligne collectrice d'énergie électrique à travers la Suisse 565

KORN (Arthur). — Représentations mécaniques des phénomènes électromagnétiques 150

KUNZ (Jakob). — Sur l'atome de Bohr et le magnétisme 167

LAGRON (L.). — Applications du diagramme des moteurs asynchrones 507

LAJUS (H.). — Étude analytique des conditions dans lesquelles, pour un échauffement déterminé, la puissance de certaines catégories de machines électriques est maximum 467

LALESCO (Tr.). — Sur les fonctions polygonales périodiques 43

LAMME (B.-G.). — Conception physique du fonctionnement du moteur asynchrone monophasé . 191

LANGEVIN (Paul). — Nomination au grade de chevalier de la Légion d'honneur 682
— Sur les coefficients d'aimantation des gaz paramagnétiques et la théorie du magnéton 720

LARTIGUE (Alfred). — Lettres à l'Académie des Sciences sur l'unification des forces et des phénomènes de la nature. (Bibliographie) 746

LATOUR (Marius). — Note sur le montage en récupération du moteur shunt à collecteur 363
— Les alternateurs à haute fréquence 557

LEBOVICI (Justin). — Fonctionnement des moteurs à induction polyphasés 451

LUÉRIAUD (J.). — Le retour du courant de traction dans un réseau à courant alternatif monophasé. 91

LI GOTTI (O.). — Sur un système de transformation de courant continu en courant alternatif, et vice-versa, sans commutateur divisé 471

LINKE (W.). — Branchement des gros moteurs à courant continu sans résistances de démarrage ... 869

LIPPMANN (G.). — Sur les propriétés des circuits électriques dénués de résistance 163

LONG (B.). — Voir *Coblentz* (*W.-W.*), *Long* (*B.*) et *Kahler* (*H.*) 380

LUERS. — Exploitation accélérée sur les longs câbles sous-marins 802

LUMIÈRE (L.). — Méthode d'enregistrement graphique au moyen d'un jet gazeux 334

LUTSCHG (O.). — Voir *Collet* (*Léon-W.*), *Mellet* (*R.*) et *Lütschg* (*O.*) 650

MARCHANT (E.-W.). — Quelques phénomènes de transition dans les systèmes de distribution électrique 45

MARCHENA (M. de). — Étude sur la marche en parallèle des alternateurs 405

MARTINEAU (Paul-Louis). — Cours de comptes courants à intérêts (Bibliographie) 579

MASHIMO (Toshikazu). — Influence d'un champ magnétique et d'une agitation mécanique du bain sur la différence du potentiel aux bornes d'une cuve électrolytique 17

MASMEJEAN (A.) et BÉRÉHARE (E.). — Les moteurs à explosion dans l'aviation (Bibliographie) 362

MAUDUIT (A.). — Programme d'électrification partielle des chemins de fer français ; expérience actuellement acquise en France et à l'étranger dans l'électrification des grandes lignes ... 402, 930

MAYER (Gaston), FRENOY (G.) et TASTE (L. de la). — Sur l'application des articles 12 et 14 de la loi du 29 juin 1918 aux entreprises de distribution d'énergie électrique 37

MAYNARD (E.). — Sur le captage et l'utilisation de la puissance des marées 827

MELLET (R.). — Voir *Collet* (*Léon-W.*), *Mellet* (*R.*) et *Lütschg* (*O.*) 650

MENK (Chas-A.) et HUNT (F.-L.). — Le laminoir de la « Liberté » de la Compagnie des Aciéries Carnegie (Etats-Unis) 726

MEYER (Marcel). — Nomination au grade de chevalier de la Légion d'honneur 618

MIDDLEKAUFF (G.-W.) et SKOGLAND (J.-F.). — Equations caractéristiques des lampes à filament de tungstène et leur application à la photométrie hétérochrome 252

MILLER (John-M.). — Oscillations électriques dans les antennes et les bobines inductrices 879

MINOHARA (T.). — Note sur un problème d'émission musicale en radiotélégraphie 747

MOHLER (F.-L.). — Voir *Foote* (*Paul-D.*), *Rogwley* (*O.*) et *Mohler* (*F.-L.*) 794

MONMERQUÉ (A.). — Notes sur l'application pratique de la loi du 15 juin 1906 et des règlements annexes 79, 237, 573, 773

MONTGOLFIER (Pierre de). — La tourbe et son utilisation (Bibliographie) 362

MORIN (P.). — L'énergie hydraulique dans le Massif Central de la France. Bassin de la Dordogne et bassin de la Truyère 219
— Contribution à la détermination du régime hydraulique du Cher 417
— Sur la mesure des débits de cours d'eau dans le Plateau Central 515

MOUCHARD (L.). — Note sur les essais et mesures relatifs aux lignes électriques 352

NÉGRIER (Paul). — La vérification des pièces interchangeables (Bibliographie) 580

ORLING. — Voir *Heurtley* et *Orling* 798

OLTINGER (C.). — Remarques sur l'établissement et l'exploitation des installations de condenseurs .. 419

PAHIN (Lucien). — Le transport des marchandises sur les voies ferrées électriques d'intérêt local ... 114

PATERSON et DUDDING. — Sur une nouvelle méthode de mesure des températures élevées (d'après la coloration de la lumière émise par le corps incandescent) 210

PAWLOWSKI (Auguste). — Annuaire de la Houille blanche française 122
— A travers les stations électriques dévastées. Les Aciéries de Longwy (Mont Saint-Martin) 602

Digitized by Google

— A travers les stations électriques dévastées : Les Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt (usines d'Homécourt) 723
— A travers les usines lorraines dévastées. Les installations électriques de Pont-à-Mousson 821

PAYEN (E.). — Nomination au grade de chevalier de la Légion d'honneur 538

PECTOR (Désiré). — De quelques matières premières nécessaires à l'industrie électrique. Le mica. 673, 701, 735, 769
— Importations et exportations françaises en matériel électrique 529, 833

PÉCHEUX (H.). — Du régime de fonctionnement électrique des lampes au tungstène (en atmosphère d'argon) 683

PEDERSEN (P.-O.). — On the Lichtenberg Figures (Sur les Figures de Lichtenberg) (Bibliographie). 778

PERRIGO (O.). — Les tours. — Construction, essais, emplois, exemples pratiques de travaux (Bibliographie) 580

PERTSCH (J.-G.). — Voir *Gray* (*Alexandre*) et *Pertsch* (*J.-G.*) 923

PETIT (G.-E.) et BOUTHILLON (Léon). — La télégraphie sans fil. La téléphonie sans fil. Applications diverses (Bibliographie) 874

PICCARD (Auguste). — Voir *Bauer* (*Edmond*) et *Piccard* (*Auguste*) 514

POMEY (J.-B.). — Sur l'orthographe d'un mot technique : cation 242
— Le principe de relativité 435
— Théorème de Pleijel 622
— Propagation du courant dans une ligne 204
— Relations de réciprocité découlant des lois de Kirchhoff 83
— Programme de transformation du réseau télégraphique français. Le développement du réseau de câbles 303
— Le multiple téléphonique interurbain de Strasbourg 335
— Relais employés en télégraphie sous-marine 797
— Voir *Carson* (*John-R.*) et *Pomey* (*J.-B.*) 715
— Nécrologie : Xavier-Georges-Frédéric Devaux-Charbonnel 577

PORTEVIN (A.). — Comparaison entre l'équilibre élastique interne des alliages, après trempe et après écrouissage, par étirage à froid 52

PUGET (Louis). — Note sur le calcul des coefficients de la série de Fourier 439, 510

PUPIN (M.-I.) et ARMSTRONG (E.-H.). — Procédé et dispositifs pour accroître la sélectivité des circuits électriques, pour télégraphie sans fil 270

PUPIN (René). — L'épargne française et ses placements pendant la période d'avant-guerre 708

RACAPÉ (A.). — Poste de 900 kw. installé sur les canalisations triphasées, 5250 v., 50 p. : sec., de la Compagnie d'Électricité de Marseille 757

RAFFALOVITCH (A).. — La situation économique en Allemagne 400

RAVEAU (C.). — Comment Carnot a calculé l'équivalent mécanique de la chaleur. Un document inédit 511

REY (Jean). — Propriétés physiques de la vapeur de pétrole 513

REYVAL (J.). — L'éclairage électrique au théâtre. 133

RICE. — Considérations sur le rendement dans les installations électriques 35

RIEUNIER (Paul). — Emploi des moteurs synchrones pour améliorer le facteur de puissance. Étude de la formule générale 3

RŒSER (Harry-M.). — Calcul des constantes de la formule du rayonnement de Planck par la méthode des moindres carrés 756

ROGNLEY (O.). — Voir *Foote* (*Paul-D.*), *Rognley* (*O.*) et *Mohler* (*F-L.*) 794

ROSENBERG (E.). — L'attraction magnétique dans les machines électriques 925

ROUET (H.) et COTTO (F.). — Le contrôle technique à l'Usine (métaux). Bibliographie 282

ROUX (G.). — Voir *Hospitalier* (*E.*) et *Roux* (*G.*) 579

SABOURET. — L'électrification partielle d'un grand réseau de chemins de fer : Paris-Orléans 422

SCHAFER (B.). — Marche en parallèle et réglage de la tension des redresseurs de courant à vapeur de mercure 230

SERIEYE (Emile). — L'économie du charbon dans les chaudières (Bibliographie) 2

SHIRLEY (O.-E.). — Voir *Doherty* (*R.-E.*) et *Shirley* (*O.-E.*) 302

SIGRIST (J.). — Sur le traitement électrothermique des minerais de nickel de la Nouvelle-Calédonie. 162

SILSBEE (Francis-B.). — Méthode pour l'essai des transformateurs 449

SKINNER (C.-A.). — Théorie simplifiée de la chute cathodique dans les gaz, avec application aux cathodes planes et filiformes 484

SKOGLAND (J.-F.). — Voir *Middlekauff* (*G.-W.*) et *Skogland* (*J.-F.*) 252

SOUCY (Jacques de). — L'usine hydro-électrique de l'Ance de la Compagnie électrique de la Loire et du Centre 659, 689

SOULIER (A.). — L'amélioration du facteur de puissance 505
— Sur l'amélioration du facteur de puissance 831
— Accouplement rapide de deux dynamos 318
— La commande électrique des machines-outils 381
— Le chauffage électrique domestique 777

SPARRE (le comte de). — Conditions à remplir lorsqu'on veut, dans une installation hydraulique, augmenter le débit et, par suite, le travail sans modifier la conduite 687

STEINMETZ (Charles-P.). — Les ressources de l'Amérique en énergie 313
— Le parafoudre à pellicule d'oxyde 388

STÉPHEN (R.-E.). — Voir *Jauréguy* (*R.-C. Pierre*), *Froment* (*H.-B.*) et *Stéphen* (*R.-E.*) 75, 82

STEWART (A.-W.). — Théorie de la structure atomique basée sur des considérations physico-chimiques 594

STRAUSS (Paul). — Le capital et le travail en France ; les conventions collectives de travail 397

STUBBINGS (G.-W.). — Les caractéristiques de l'ampère-heure-mètre à collecteur 149

STUHLMAN (Otto). — Emission et absorption des photoélectrons par le platine et l'argent 794

SWYNGEDAUW (R.). — Le courant alternatif (Bibliographie) 202

Digitized by Google

— Sur la résistance et la réactance effectives d'un câble armé triphasé pour les harmoniques du courant 16
— Sur les pertes d'énergie dans les diélectriques des câbles armés 283
— Sur l'influence de l'enveloppe sur les résistance et réactance effectives d'un câble armé pour les harmoniques 165

Szarvady (G.). — Théorie des enroulements des machines à courant continu (Bibliographie).... 842

Takamine (Toshio) et Yoshida (Usabora). — Valeur du champ électrique dans l'espace obscur de Crookes d'un tube étroit 299

Taste (L. de la). — Voir *Mayer* (*Gaston*), *Frenoy* (*G.*) et *Tasle* (*L. de la*) 37

Thomas (Ph.). — Comparaison des capacités par une méthode balistique de zéro 656

Thompson (Bertrand). — Le système Taylor (Bibliographie) 434

Togna. — Essai à puissance réduite des alternateurs. 779, 875

Torices (F.) et Curchod (A.). — Schémas et règles pratiques de bobinage des machines électriques (Bibliographie) 746

Touly. — Voir *Gutton* et *Touly* 415

Toupet. — Le synchronisme dans l'appareil multiplex employé par l'armée américaine 416

Tribot-Laspière (J.). — Comment s'est fait l'aménagement des chutes d'eau en France (Bibliographie) 282

Turpain (Albert). — Vers la Houille blanche. Motoculture et Électromotoculture (Bibliographie)... 810

Ulrey (Dayton-L.). — Relation entre le pouvoir inducteur spécifique d'un électrolyte et le potentiel d'un métal plongé dans l'électrolyte 753

Underfeed Stoker Co. — Les chaudières avec réchauffeurs d'air 265

Vaillant (P.). — Sur la production d'un courant continu par application d'une force électromotrice alternative à un voltamètre à électrode de platine 593
— La polarisation en courant alternatif 722

Vaillaux (E.). — A propos des déprédations commises contre les réseaux électriques 121

Varinois (Maurice). — Le fraisage. — La fraise. Les machines à fraiser. Les machines à tailler les engrenages. Exemples de travaux de fraisage (Bibliographie) 580

Valran (Jean). — L'action économique en Suisse. 400

Vigneron (H.). — Les applications de la physique pendant la guerre (Bibliographie) 810

Vogt (H.). — Applications du calcul symbolique à l'intégration des équations différentielles linéaires à coefficients variables 581, 907

Walker. — Utilisation de courants triphasés pour la production du courant monophasé 864

Warren (N.-S.). — Effets d'induction produits par le courant alternatif de traction sur les lignes téléphoniques et télégraphiques 175

Weber (H.-C.-P.) et Kay (T.-C. Mac). — Variation du pouvoir inducteur spécifique de quelques substances avec la température, soit seules, soit incorporées au papier 718

Winteler (F.). — A propos de l'avenir de l'industrie électrochimique en Suisse 36

Wirz (E.). — Calcul des transformateurs tenant compte des prescriptions légales 568

Wolcott (E.-R.). — Influence des diélectriques sur les tensions disruptives 131

Wooten (Benjamin-Allen). — Énergie de l'émission des rayons X caractéristiques par le molybdène et le palladium en fonction de la tension appliquée 688

Worthing (A.-G.). — Chaleur atomique du tungstène et du carbone aux températures de l'incandescence 658

Yoshida (Usabora) et Takamine (Toshio). — Voir *Takamine* (*Toshio*) et *Yoshida* (*Usabora*) 299

Zolly (H.) et Bossard (W.-E.). — Der neue Nivellement Horizont der Schweitz (R. P. N. = 373,6 m.). (Le nouveau plan de niveau de la Suisse. Repère de la Pierre du Niton = 373,6 m.) (Bibliographie) 580

Digitized by Google

RÉPERTOIRE GÉOGRAPHIQUE

ALLEMAGNE. — L'industrie de l'azote en Allemagne pendant la guerre (*R.-C. Pierre Jauréguy, H.-B. Froment* et *R.-E. Stéphen*)..... 75
Les projets de création de très grands réseaux de distribution d'énergie électrique en Allemagne.. 353
La situation économique en Allemagne..... 400
Le développement des distributions d'énergie électrique en Allemagne..... 871

ALSACE. — Carte des lignes télégraphiques.. 180, 184

ANCE (Haute-Loire). — L'usine hydro-électrique de l'Ance de la Compagnie électrique de la Loire et du Centre (*J. de Soucy*)..... 659, 689

AUSTRALIE. — L'industrie du zinc électrolytique en Australie..... 642

BELGIQUE. — L'industrie électrique en Belgique... 532

BOURGES (Cher). — Transmission d'énergie électrique de Bourges à l'arsenal américain de Beauvoir-Usine de Mazières..... 445

CHER (France). — Contribution à la détermination du régime hydraulique du Cher..... 417

ESPAGNE. — Les importations de matériel électrique en Espagne..... 610

HOLLANDE. — Les projets de création de grands réseaux d'énergie électrique en Hollande..... 353

HOMÉCOURT (Meurthe-et-Moselle). — A travers les stations électriques dévastées. Les Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt (usines d'Homécourt) (*Auguste Pawlowski*)..... 723

KUBEL (près de Saint-Gall, Suisse). — Usine hydro-électrique avec turbine de 2500 chevaux..... 19

LONGWY (Meurthe-et-Moselle). — A travers les stations électriques dévastées. Les Aciéries de Longwy (Mont Saint-Martin) (*Auguste Pawlowski*). 602

MASSIF CENTRAL. — L'énergie hydraulique dans le Massif Central de la France. Bassin de la Dordogne et bassin de la Truyère..... 219

MEAUX (Seine-et-Marne). — Le labourage électrique dans la région de Meaux..... 307

NOUVELLE-CALÉDONIE. — Sur le traitement électrothermique des minerais de nickel de la Nouvelle-Calédonie (*J. Sigrist*)..... 162

PARIS-ORLÉANS. — Électrification partielle du réseau de chemins de fer..... 402, 930

PAU (Basses-Pyrénées). — Relèvement des prix de vente de l'électricité..... 274

PONT-A-MOUSSON (Meurthe-et-Moselle). — A travers les usines lorraines dévastées. Les installations électriques de Pont-à-Mousson..... 821

ROUMANIE. — L'avenir de l'industrie électrique en Roumanie (*Drag. Hurmuzescu*)..... 388

STRASBOURG (France). — Le multiple téléphonique interurbain de Strasbourg (*J.-B. Pomey*)..... 335

SUÈDE. — Les projets de création de très grands réseaux de distribution d'énergie électrique en Suède..... 353

SUISSE. — L'action économique en Suisse..... 400
Projet d'une ligne collectrice d'énergie électrique à travers la Suisse (*E. Kohler*)..... 565
Der neue Nivellement Horizon der Schweitz (R. P. N. = 373,6 m.) (Le nouveau plan de niveau de la Suisse, Repère de la Pierre du Niton = 373,6 m.), par *H. Zolly* et *W.-E. Bossard* (Bibliographie)..... 580

TARBES (Hautes-Pyrénées). — Ligne de traction à courant alternatif monophasé..... 101

Digitized by Google

INDEX DES ANNONCES

MATÉRIEL ÉLECTRIQUE

Accumulateurs.

DININ (ACCUMULATEURS), 18, route de Cherbourg, Nanterre (Seine).

FULMEN (ACCUMULATEURS), 18, Quai de Clichy, Clichy (Seine).

GADOT (Paul) et TOURNAIRE (Charles), Porte Champerret, Levallois (Seine).

HEINZ, 2, rue Tronchet, Paris (9e).

PARIS-RHONE, 41, rue du Chemin-de-Saint-Priest, Lyon-Monplaisir et 10, rue Auber, Paris (9e).

SOCIÉTÉ ANONYME DES ACCUMULATEURS « MONOPLAQUE », 81, rue Vercingétorix et 1, rue Desprez, Paris (14e).

SOCIÉTÉ GRAMME, 26, rue d'Hautpoul, Paris (19e).

SOCIÉTÉ POUR LE TRAVAIL ÉLECTRIQUE DES MÉTAUX, 26, rue Laffitte, Paris (9e).

TUDOR, 26, rue de la Bienfaisance, Paris (8e).

Appareillage électrique.

ALLEN WEST AND Co LTD, Lowes Road, Brighton (Angleterre).

APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE INDUSTRIEL, 117 *bis*, rue des Pyrénées, Paris (20e).

ASEA (Société suédoise d'Électricité), Vasteras (Suède).

ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE DELLE, 28, boulevard de Strasbourg, Paris (10e).

ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DU NORD ET DE L'EST, Jeumont (Nord) et 75, boulevard Haussmann, Paris (8e).

BRITISH SWITCHGEAR, 52, faubourg Montmartre, Paris (9e).

CADIOT, 31, rue de Maubeuge, Paris (10e).

COMPAGNIE ÉLECTRO-MÉCANIQUE, 12, rue Portalis (8e).

COMPAGNIE GÉNÉRALE ÉLECTRIQUE DE NANCY, rue Oberlin, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ÉLECTRICITÉ, 54, rue La Boétie, Paris (8e).

CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES, 22, quai de la Bataille, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

CONSTRUCTION ÉLECTRIQUE (Société de), 67, rue Molière, Lyon (Rhône).

CORRIE (J.-B.) et Cie, 15, Victoria Street, Londres et 56, rue du Faubourg Saint-Honoré, Paris (8e).

DARSSES (Établissements A.), 34, 51, 53, rue Lafaurie-de-Montbadon, Bordeaux (Gironde).

DELAFON (Vve), 82, Boul. Richard-Lenoir, Paris (11e).

DEMOLY (E.), 43, rue de Trévise, Paris (9e).

ECLAIRAGE ÉLECTRIQUE (L'), 10, rue de Londres, Paris (8e).

EFGÉ (Société de Fourniture générale pour l'Électricité), 75, avenue de la République, Paris (2e).

FINK ET JORAS, 21, rue Edouard-Nieuport, Suresnes (Seine).

GARDY, 23, rue de la Voie-des-Bancs, Argenteuil (Seine).

GENTEUR (Appareillage électrique), 122, avenue Philippe-Auguste, Paris (11e).

GINDRE ET DUCHAVANY et Cie, 18, quai de Retz, Lyon (Rhône).

GRIVOLAS (Appareillage électrique), 16, rue Montgolfier, Paris (3e).

HEDIGER (Jean), 47, rue de Paradis, Paris (10e).

HELDT (Établissements), 9, rue des Petits-Écuries, Paris (10e).

HEZEZ, 149-151, rue Armand-Silvestre, Courbevoie (Seine).

ISENTHAL ET COMPAGNIE, Donxil Works, Willesden, London N. W. 10.

JAPY frères, Beaumont (Haut-Rhin), 7, rue du Château-d'Eau, Paris (10e).

LEGENDRE frères, 27, rue Saint-Fargeau, Paris (20e).

LORAS (Transformateur Ferrix), Valrose, Nice (Alpes-Maritimes).

L. P. S. ELECTRICAL COMPANY, 14, Howick Place, Westminster, Londres (Angleterre).

MALJOURNAL ET BOURRON, 128, avenue Thiers, Lyon (Rhône)

MANUFACTURE D'APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE SPÉCIAL Trévoux (Ain).

MATABON (Établissements J.-L.), 159, avenue Thiers et rue de La Viabert, Lyon (Rhône).

MATÉRIEL ÉLECTRIQUE ALEX LEFEBVRE, Sainte-Adresse (Seine-Inférieure).

MÉTALLURGIQUE ÉLECTRIQUE (La), 14, rue Taitbout, Paris (9e).

MIZERY ET BONVOISIN, 35, boul. Richard-Lenoir, Paris (11e).

MOVO S. A., 10, rue du Jura, Vevay (Suisse).

PARK ROYAL ENGINEERING WORKS LDT, Cumberland Avenue, Park Royal, London, N. W. 1. O. (Angleterre).

PARIS-RHONE, 41, rue du Chemin-de-Saint-Priest, Lyon-Monplaisir (Rhône), et 10, rue Auber, Paris (9e).

PATAY (Constructions électriques), 48, rue Corne-de-Cerf, Lyon (Rhône).

PETRIER, TISSOT ET RAYBAUD, 24, rue de la Part-Dieu, Lyon (Rhône).

PICHON-PACAULT, 20, rue du Télégraphe, Paris (20e).

SABATIER, 3, rue du Pré-Nian, Nantes (Loire-Inférieure).

SAUTER (Fabrique d'Appareils électriques), Bâle (Suisse).

SCHNEIDER ET Cie, 42, rue d'Anjou, Paris (8e).

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES Belfort (Haut-Rhin), et 4, rue de Vienne, Paris (8e).

SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DE SÉCHERON, Genève (Suisse).

SOCIÉTÉ ANONYME DES PORCELAINES ET APPAREILLAGES ÉLECTRIQUES GRAMMONT, 10, rue d'Uzès, Paris (2e).

SOCIÉTÉ D'ÉLECTRICITÉ MORS, 28, rue de la Bienfaisance, Paris (8e).

SOCIÉTÉ GRAMME, 26, rue d'Hautpoul, Paris (19e).

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES TÉLÉPHONES, 25, rue du 4-Septembre (2e).

THOMSON-HOUSTON (Compagnie française pour l'exploitation des procédés), 10, rue de Londres, Paris (9e).

WESTINGHOUSE, 7, rue de Liége, Paris (9e).

WITTMER (G.), Seloncourt (Doubs).

ZENITH MANUFACTURING Co, Villiers Road, Willesden Green, London, N. W. 2 (Angleterre).

Digitized by Google

Charbons pour Balais et Lampes électriques.

Compagnie des Charbons Fabius Henrion, 56, faubourg Saint-Honoré, Paris (8e).

Compagnie française des Charbons pour l'Electricité, avenue Jules-Quentin, Nanterre (Seine).

Compagnie générale électrique de Nancy, rue Oberlin, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

Le Carbone, 12 et 33, rue de Lorraine, Levallois (Seine).

Marshall et Cie, 17, rue du Pont-aux-Choux, Paris (3e).

Condensateurs.

Compagnie générale des Cables de Lyon, 41, chemin du Pré-Gaudry, Lyon (Rhône).

Manufacture d'Appareillage électrique spécial, 7, rue Mazagran, Lyon (Rhône).

Société générale de Condensateurs électriques Fribourg (Suisse) et 73, rue Notre-Dame-des-Champs Paris (6e).

Varret et Collot (Société des Établissements), 7, rue d'Hautpoul, Paris (19e)

Construction électrique et mécanique.

Asea (Société suédoise d'Électricité), Vasteras (Suède).

Ateliers électriques de Saint-Ouen, 13, rue de Clichy, Saint-Ouen (Seine).

Ateliers de Constructions électriques du Nord et de l'Est, Jeumont (Nord), 75, boul. Haussmann, Paris (8e).

Bonnet-Spazin (Ateliers), 11, quai de l'Industrie, Lyon (Rhône).

Bonnier, 20, rue Saint-Gilbert, Lyon (Rhône).

Bouchayer et Viallet (Etablissements), 105, cours Berriat, Grenoble (Isère)

Bréguet (Maison), 34, rue de Châteaudun, Paris (9e).

British Switchgear, 52, faubourg Montmartre, Paris (9e).

Compagnie Electro-Mécanique, 12, rue Portalis, Paris (8e).

Compagnie générale d'Electricité, 54, rue La Boétie, Paris (8e).

Compagnie générale électrique de Nancy, rue Oberlin, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

Constructions électriques, 22, quai de la Bataille, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

Construction électrique (Société de), 67, rue Molière, Lyon (Rhône)

Corrie (J.-B.) et Cie, 15, Victoria Street, Londres et 56, rue du Faubourg Saint-Honoré, Paris (8e).

Couffinhal (L.), 60, rue de Roanne, Saint-Etienne (Loire).

Cuénod (H.), (Société Anonyme), Châtelaine, près Genève (Suisse).

Delachaux (C.), 32, quai de Seine, Saint-Ouen (Seine).

Drouard, 252, rue Lecourbe, Paris (15e).

Eclairage électrique (L'), 10, rue de Londres, Paris (9e).

Escher Wyss et Cie, Zurich (Suisse) et 39, rue de Châteaudun, Paris (9e).

Fink et Joras, 21, rue Edouard-Nieuport, Suresnes (Seine).

Fives-Lille, 64, rue Caumartin, Paris (8e).

Fonderies et Ateliers de Constructions de Fourchambault et la Pique 12, rue d'Aguesseau, Paris (8e).

Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt, Saint-Chamond (Loire) et 98, rue de la Victoire, Paris (9e).

Forges de Chatillon, Commentry et Neuves-Maisons (Compagnie des), 19, rue La Rochefoucauld, Paris (9e).

Grammont (Établissements), Pont-de-Chéruy (Isère).

Heiser (G.), (Ateliers), 34, rue Carnot, Suresnes (Seine).

Japy, frères, Beaucourt (Haut-Rhin), 7, rue du Château-d'Eau, Paris (10e).

Julien Frères et Prat, 114, cours Tolstoï, Lyon (Rhône).

Leflaive et Cie, Saint-Etienne (Loire) et 78, rue d'Anjou, Paris (10e).

Legendre Frères, 37, rue Saint-Fargeau, Paris, (20e).

Oerlikon (Société), Suisse et 9, rue Pillet-Will, Paris (9e).

Paris-Rhone, 10, rue Auber, Paris (9e).

Patay (Construction électrique), 48, rue Corne-de-Cerf, Lyon (Rhône).

Peugeot, 71, avenue de la Grande-Armée, Paris (17e).

Renault (L.), 15, rue Gustave-Sandoz, Billancourt (Seine).

Roulland (Charles), 44, avenue Aubert, Vincennes (Seine).

Sautter-Harlé (Anciens Etablissements), 26, avenue de Suffren, Paris (15e).

Schneider et Cie, 42, rue d'Anjou, Paris (8e).

Société alsacienne de Constructions mécaniques, Belfort (Haut-Rhin) et 4, rue de Vienne, Paris (8e).

Société anonyme des Ateliers de Sécheron, Genève (Suisse).

Société anonyme des Usines d'Ornans, Ornans (Doubs).

Société de Construction et de Location d'Appareils de levage, 78, rue Vitruve, Paris (20e).

Société de Constructions mécaniques « Gallia », 13, chemin Guilloud, Lyon (Rhône).

Société Gramme, 26, rue d'Hautpoul, Paris (19e).

Société des Moteurs a Gaz et d'Industrie mécanique, 135, rue de la Convention, Paris (15e)

Soulier (Appareils électriques), 7, rue de la Gare, Arcueil (Seine).

Thévenin (J.-M.), 122-124, faubourg Saint-Martin, Paris (10e).

Thomson-Houston (Compagnie française pour l'exploitation des procédés), 10, rue de Londres, Paris (9e).

Wagner et Cie, 5, rue Victor-de-Laprade, Saint-Etienne (Loire).

Westinghouse (Société anonyme), 7, rue de Liége, Paris (9e).

Weyher et Richemond (Anciens Établissements), 52, route d'Aubervilliers, Pantin (Seine).

Magnétos.

Déesse (Magnéto), 93, route d'Heyrieux, Lyon (Rhône).

Labrosse et Estève, 30, avenue Noailles, Lyon (Rhône).

Lavalette, 175, avenue de Choisy, Paris (13e).

Nilmelior (Société), 51, rue Lacordaire, Paris (15e).

Matériel neuf et d'occasion.

Bouillet (P.), 156, rue de Vanves, Paris (14e).

Compagnie Universel Electric, 37, rue de Bagnolet, Paris (20e).

Comptoir d'achats de l'Installation électrique, 5, rue d'Athènes, Paris (9e).

Dory et Gain, 33 et 35, rue du Mont-d'Ivry, Alfortville (Seine).

Langrand (G.), (Etablissements), 256 *bis*, boul. Saint-Martin, Paris (10e).

Messmer (Alexandre), 93, boulevard Diderot, Paris (12e).

Thévenin (J.-M.), 122-124, faubourg Saint-Martin, Paris (10e).

Digitized by Google

Piles électriques.

DELAFON (P.), 82, boul. Richard-Lenoir, Paris (11e).

LE CARBONE, 12 et 33, rue de Lorraine, Levallois (Seine)

MALJOURNAL ET BOURRON, 128, avenue Thiers, Lyon (Rhône).

THOMSON-HOUSTON (Compagnie française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9e).

MESURES ET COMPTAGE

Appareils de Mesure.

CADIOT (M.), 31, rue de Maubeuge, Paris (10e).

CARPENTIER (J.), 20, rue Delambre, Paris (14e).

CHAUVIN ET ARNOUX, 186, rue Championnet, Paris (18e).

COMPAGNIE POUR LA FABRICATION DES COMPTEURS ET MATÉRIEL D'USINES A GAZ, 18, boul. de Vaugirard, Paris (15e).

DA ET DUTILH, 81, rue Saint-Maur, Paris (11e).

DEMOLY, 43, rue de Trévise, Paris (9e).

GARNIER, 23-25, rue Cavenne, Lyon (Rhône).

GRAINDORGE, 4, rue du Borrego, Paris (20e).

JAQUET (James), (Société Anonyme), Bâle (Suisse).

JOHANSSON, 75, boulevard Raspail, Paris (14e).

MALJOURNAL ET BOURRON, 128, avenue Thiers, Lyon (Rhône).

OTTO BILLAND, Saint-Imier (Suisse).

PARK ROYAL ENGINEERING WORKS LDT, Cumberland Avenue, Park Royal, London, N. W. I. O (Angleterre).

POULENC FRÈRES (Établissements), 122, boulevard Saint-Germain, Paris (6e) et 92, rue Vieille-du-Temple, Paris (4e)

RICHARD (J.), 25, rue Mélingue, Paris (19e).

SOCIÉTÉ ANONYME LOMBARDE C.G.S. (Anciennement Olivetti et Cie), 25, rue Pasquier, Paris (8e).

SOCIÉTÉ GRAMME, 26, rue d'Hautpoul, Paris (19e).

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE POUR LA FABRICATION D'APPAREILS DE MESURE, 5, rue Gaudot-de-Mauroi, Paris (9e).

TRUB, TAUBER ET Cie, 36, boul. de la Bastille, Paris (12e).

WESTINGHOUSE (Société anonyme), 7, rue de Liége, Paris (9e).

Compteurs électriques.

COMPAGNIE ANONYME CONTINENTALE POUR LA FABRICATION DES COMPTEURS A GAZ ET AUTRES APPAREILS, 9, rue Pétrelle, Paris (9e).

COMPAGNIE DE CONSTRUCTION ÉLECTRIQUE, 44, rue du Docteur-Lombard, Issy-les-Moulineaux (Seine).

COMPAGNIE POUR LA FABRICATION DES COMPTEURS ET MATÉRIEL D'USINES A GAZ, 18, boul. de Vaugirard, Paris (6e).

GARNIER, 23, rue Cavenne, Lyon (Rhône).

JAPY FRÈRES ET Cie, Beaucourt (Haut-Rhin) et 7, rue du Château-d'Eau, Paris (10e).

LANDIS ET GYR, 12, rue Lapeyrère, Paris (18e).

SAUTER (Fabrique d'appareils électriques), Bâle (Suisse).

WESTINGHOUSE (Société anonyme), 7, rue de Liége, Paris (9e).

WITTMER (G.), Seloncourt (Doubs).

MATÉRIEL POUR LIGNES DE DISTRIBUTION

Câbles et Fils électriques.

ALUMINIUM FRANÇAIS, 12, rue Roquépine, Paris (8e).

ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DU NORD ET DE L'EST, Jeumont (Nord) et 75, boul. Haussmann, Paris (8e)

COMPAGNIE GÉNÉRALE DES CABLES DE LYON, 41, Chemin du Pré-Gaudry, Lyon (Rhône).

CONNOLLY BROTHERS LTD, Vale Mills, Blackley-Manchester (Angleterre).

EFGÉ (Société de Fourniture générale pour l'Electricité), 75, avenue de la République, Paris (11e).

GEOFFROY ET DELORE, 28, rue des Chasses, Clichy (Seine).

GRAMMONT (A.) (Établissements), Pont-de-Chéruy (Isère).

MENG (Établissements), 80, rue Bolivar, Paris (19e).

OLIER, 10, rue Beaurepaire, Paris (10e).

PIRELLI ET Cie, Milan (Italie).

SEGHERS (Ad.), 7, rue Scribe, Paris (9e).

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Belfort (Haut-Rhin) et 4, rue de Vienne, Paris (8e).

SOCIÉTÉ ELECTRO-CABLE, 2, rue de Penthièvre, Paris (8e).

SOCIÉTÉ ÉLECTRO-MÉTALLURGIQUE DE DIVES, 11 *bis*, rue Roquépine, Paris (8e).

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES TÉLÉPHONES, 25, rue du 4-Septembre, Paris (2e).

TRÉFILERIES ET LAMINOIRS DU HAVRE, 29, rue de Londres, Paris (9e).

Isolateurs et Isolants.

AVISINE ET Cie, 13, rue du Départ, Paris (14e).

BARNIER, 95, avenue Victor-Hugo, Valence (Drôme).

CADIOT (Marcel), 31, rue de Maubeuge, Paris (10e).

CHAMBOURNIER (E.), 23-25, rue de Marseille, Lyon (Rhône).

COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ELECTRICITÉ, 54, rue la Boétie, Paris (8e).

DEMOLY (Ernest), 43, rue de Trévise, Paris (9e).

DÉMOLY ET MARTINOT, 44, rue Saint-Lazare, Paris (9e).

EFGÉ (Société de Fourniture générale pour l'Electricité), 75, avenue de la République, Paris (11e).

ENGINEERING SUPPLIES, 77, avenue de la République, Paris (11e).

FEUGIER (Établissements Louis), Sault-Brenaz (Ain).

GALLANT (Albert), Comines (Nord) et 1, rue Laffitte, Paris (10e).

HAEFELY (E.) et Cie, à Bâle (Suisse).

HARTOG (Etablissements Georges), 105, rue Lafayette, Paris (9e).

JEANTET MORARD (P.) ET Cie, Saint-Claude (Jura).

JOLY (Émile) ET Cie, 91, rue Lafayette, Paris (10e).

LASKI (Henri), 130, avenue Parmentier, Paris (11e).

LE MATÉRIEL ISOLANT, 20, rue Arago, Lyon-Villeurbanne (Rhône).

MALJOURNAL ET BOURRON (Établissements), 128, avenue Thiers, Lyon (Rhône).

MANUFACTURE D'ISOLANTS DU RHONE, rue Bouchet, Lyon-Villeurbanne (Rhône).

MICAFIL, Zurich-Altstetten (Suisse).

MÉTALLURGIQUE ÉLECTRIQUE (La), 14, rue Taitbout, Paris (9e).

PARVILLÉE FRÈRES (Anciens Etablissements), 56, rue de la Victoire, Paris (9e).

PIRELLI ET Cie, Milan (Italie).

RADIGUET (H.-L.), 32, faubourg Mont-Jovis, Limoges (Haute-Vienne).

SOCIÉTÉ ANONYME DES PORCELAINES ET APPAREILLAGES ÉLECTRIQUES GRAMMONT, 10, rue d'Uzès, Paris (2e).

WEIDMANN, Rapperswil (Suisse).

Pylônes.

BOUCHAYER ET VIALLET, 145, cours Berriat, Grenoble (Isère) et 124, rue la Boétie, Paris (8e).

JOYA (Régis), Grenoble (Isère).

LEFLAIVE ET Cie (Forges et Aciéries de la Chaléassière), Saint-Etienne (Loire) et 78, rue d'Anjou, Paris (8e).

Digitized by Google

Société d'Application du Béton Armé, 26 *bis*, rue d'Astorg, Paris (8e).

INSTALLATIONS ET ENTREPRISES ÉLECTRIQUES

Collet Frères, 1, avenue Berthelot, Lyon (Rhône).

Compagnie d'Entreprises hydrauliques et Travaux publics, 90, rue de la Victoire, Paris (9e).

Compagnie générale d'Entreprises électriques, 20, rue du Laos, Paris (15e) et 295, avenue Jean-Jaurès, Lyon (Rhône)

Compagnie générale de Travaux d'Éclairage et de Force (Anciens Etablissements Clémançon), 23, rue Lamartine, Paris (9e).

Corrie (J.-B.) et Cie, 15, Victoria Street, Londres (Angleterre), et 56, rue du Faubourg Saint-Honoré, Paris (8e).

Devilaine et Rougé (Établissements), 4, rue Casimir-Delavigne, Paris (6e).

Électro-Entreprise, 46, rue du Rocher, Paris (8e).

Galopin et Cie, 3, boulevard James-Fazy, Genève (Suisse).

Giraudon, 8, place de la Madeleine, Paris (8e).

Maljournal et Bourron, 128, avenue Thiers, Lyon (Rhône).

Roulland (Établissements Adolphe), 35, rue de Bagnolet, Paris (20e).

Sainrapt et Brice, 3, place Paul-Verlaine, Paris (13e).

Société centrale d'Entreprises, 11 et 13, rue de Belzunce, Paris (10e).

Société d'Électricité Mors, 28, rue de la Bienfaisance (8e).

Société générale d'Entreprises, 56, faubourg Saint-Honoré, Paris (8e).

Société des grands Travaux de Marseille, 90, rue de la Victoire, Paris (9e).

Société d'Installations électromécaniques industrielles, 33, rue de Moscou, Paris (8e).

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ

ÉCLAIRAGE ET CHAUFFAGE

Alpha, 14, rue Déserte, Strasbourg (Alsace).

Aluminium français, 12, rue Roquépine, Paris (8e).

Compagnie des Charbons Fabius Henrion, 56, faubourg Saint-Honoré, Paris (8e).

Compagnie française pour la Fabrication des Lampes électriques a Incandescence, 36, rue Godot-de-Mauroi, Paris (9e).

Compagnie générale d'Electricité, 54, rue la Boétie, Paris (8e).

Eyquem (Société de la Dynamo Phare), 112, rue de Cormeille, Levallois (Seine).

Grammont (Etablissements A.), Pont-de-Chéruy (Isère).

Lacarrière (Société), 48, rue de la Victoire, Paris (9e).

Maljournal et Bourron, 128, avenue Thiers, Lyon (Rhône).

Park Royal Engineering Works Ltd, Cumberland Avenue, Park Royal, London, N. W. J. O. (Angleterre).

Thomson-Houston (Société française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9e).

Vissaux (J.), 87, quai Pierre-Seize, Lyon (Rhône).

Westinghouse Cooper Hewitt, 11, rue du Pont, Suresnes (Seine).

Westinghouse (Société Anonyme), 7, rue de Liège, Paris (9e).

Accessoires pour l'Éclairage.

Darsses (Établissements A.), 34, 51, 53, rue Lafaurie-de-Montbadon, Bordeaux (Gironde).

Ergé (Société de Fourniture générale pour l'Électricité), 75, avenue de la République, Paris (11e).

Galby (Établissements J.), place du Bachut, Lyon (Rhône).

Girardin (A.), 29, rue Grange-aux-Belles, Paris (10e).

Hediger (Jean), 47, rue de Paradis, Paris (10e).

Heldt, 9, rue des Petites-Ecuries, Paris (10e).

Maljournal et Bourron, 128, avenue Thiers, Lyon (Rhône).

Chauffage et Cuisine électriques.

Calor (Société), 200, rue Boileau, Lyon (Rhône).

Fox (Georges), 24, rue Victor-Hugo, Lyon (Rhône).

Hediger, 47, rue de Paradis, Paris (10e).

Lambert, 60, rue Saint-Lazare, Paris (9e).

Parvillée Frères (Anciens établissements), 56, rue de la Victoire, Paris (9e).

Rooke (H. et R.), 29, rue du Château, Neuilly-sur-Seine (Seine).

ÉLECTROCHIMIE ET ÉLECTROMÉTALLURGIE

Bonnet-Spazin (Ateliers), Lyon (Rhône).

Grammont (A.) (Etablissements), Pont-de-Chéruy (Isère).

Maljournal et Bourron (Etablissements), 128, avenue Thiers, Lyon (Rhône).

Schneider et Cie, 42, rue d'Anjou, Paris (8e).

Société alsacienne de Constructions mécaniques, Belfort (Haut-Rhin), et 4, rue de Vienne, Paris (8e).

Société anonyme des Ateliers de Sécheron, Genève (Suisse).

Société des Carbures métalliques, Notre Dame-de-Briançon et Saint-Avre-la-Chambre (Savoie)

Thomson-Houston (Compagnie française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9e).

LEVAGE ET MANUTENTION

Appareils de levage et de manutention.

Allen West and Co, Ltd, Lowes Road, Brighton (Angleterre).

American Trading Co of France, 64, rue de la Chaussée-d'Antin, Paris (9e).

Asea (Société suédoise d'électricité), Vasteras (Suède).

Compagnie Électro-Mécanique, 12, rue Portalis, Paris (8e).

Corrie (J.-B.) et Cie, 15, Victoria Street, Londres (Angleterre, et 56, rue du Faubourg Saint-Honoré, Paris (8e).

Couffinhal, Saint-Etienne (Loire).

Engineering Supplies, 77, avenue de la République, Paris (11e).

Fives-Lille (Compagnie de), 64, rue Caumartin, Paris (8e).

Fonderies et Ateliers de Constructions de Fourchambault et la Pique, 12, rue d'Aguesseau, Paris (8e).

Joya (Régis), Grenoble (Isère).

Leflaive et Cie, Saint-Etienne, 78, rue d'Anjou, Paris (8e).

Oerlikon (Société), 9, rue Pillet-Will, Paris (9e).

Pontille, 13, rue des Tournelles, Lyon (Rhône).

Sautter-Harlé, 26, avenue de Suffren, Paris (15e).

Randegger et Niestlé, 188, boulevard Voltaire, Paris (11e).

Schneider et Cie, 42, rue d'Anjou, Paris (8e).

Digitized by Google

Société alsacienne de Constructions mécaniques. Belfort (Haut-Rhin) et 4, rue de Vienne, Paris (8e).

Société de Construction et de Location d'Appareils de levage, 78, rue Vitruve, Paris (20e).

Société de Constructions mécaniques « Gallia », 13 et 15, Chemin Guilloud, Lyon (Rhône).

Société Gramme, 26, rue d'Hautpoul, Paris (19e).

Thomson-Houston (Compagnie française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9e).

Transporteurs Simplex (Compagnie des), 43, rue Lafayette, Paris (9e).

Westinghouse (Société anonyme), 7, rue de Liége, Paris (9e).

MINES

Matériel pour Mines.

Arbel (Etablissements), 24, rue du Rocher, Paris (8e).

Ateliers de Constructions électriques du Nord et de l'Est, Jeumont (Nord) et 75, boul. Haussmann, Paris (8e).

Corrie, (J.-B.) et Cie, 15, Victoria-Street, Londres (Angleterre) et 56, rue du Faubourg Saint-Honoré, Paris (8e).

Compagnie Electro-mécanique, 12, rue Portalis, Paris (8e).

Couffinhal (Laurent), Saint-Etienne (Loire).

Leflaive et Cie (Forges et Aciéries de la Chaléassière) Saint-Etienne (Loire), 78, rue d'Anjou, Paris (8e).

Randegger et Niestlé, 188, boul. Voltaire, Paris (11e).

Schneider et Cie, 42, rue d'Anjou, Paris (8e).

Société alsacienne de Constructions mécaniques, Belfort (Haut-Rhin) et 4, rue de Vienne, Paris (8e).

Thomson-Houston (Compagnie française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9e).

Westinghouse (Société anonyme), 7, rue de Liége, Paris (9e).

MATÉRIEL RADIOMÉTALLOGRAPHIQUE

Pélissé (F.), 7, quai Claude-Bernard, Lyon (Rhône)

Pilon H. (Société anonyme des Établissements), 53, rue de Paris, Asnières (Seine).

TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE

Télégraphie.

Thomson-Houston (Compagnie française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9e).

Télégraphie sans fil.

Compagnie générale de Radiotélégraphie, 65, boul. Haussmann, Paris (8e).

Société anonyme des Ateliers de Sécheron, Genève (Suisse).

Societa anonima Breveti A. Perego, 10, Via Salaino, Milan (Italie).

Société des Télégraphies Multiplex, 57, rue de Vanves, Paris (14e).

Société française Radio-Electrique, 10, rue Auber, Paris (9e).

Téléphonie.

Bréguet (Maison), 19, rue Didot, Paris (14e).

Eyquem (Société de la Dynamo-phare), 112, rue de Cormeille, Levallois-Perret (Seine).

Matériel téléphonique (Le), 46, avenue de Breteuil, Paris (15e).

Societa anonima Breveti A. Perego, 10, Via Salaino, Milan (Italie).

Société anonyme des Porcelaines et Appareillages électriques Grammont, 10, rue d'Uzès, Paris (2e).

Société industrielle des Téléphones, 25, rue du 4-Septembre, Paris (2e).

Téléphones Le Las, 131, rue de Vaugirard, Paris (15e).

Thomson-Houston (Compagnie française pour l'Exploitation des procédés), 10, rue de Londres, Paris (9e).

TRACTION

Traction électrique.

Asea (Société suédoise d'Electricité), Vasteras (Suède).

Ateliers de Constructions électriques du Nord et de l'Est, Jeumont (Nord) et 75, boulevard Haussmann, Paris (8e).

Compagnie Electro-mécanique, 12, rue Portalis, Paris (8e).

Delachaux (C.), 32, quai de Seine, Saint-Ouen (Seine).

Fives-Lille (Compagnie de), 64, rue Caumartin, Paris (8e).

Fonderies et Ateliers de Constructions de Fourchambault et La Pique (Société des), 12, rue d'Aguesseau, Paris (8e).

Oerlikon (Société), 9, rue Pillet-Will, Paris (9e).

Schneider et Cie, 42, rue d'Anjou, Paris, (8e).

Société alsacienne de Constructions mécaniques, Belfort (Haut-Rhin) et 4, rue de Vienne, Paris (8e).

Thomson-Houston (Compagnie française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9e).

Westinghouse (Société anonyme), 7, rue de Liége, Paris (9e).

Appareillage pour la Traction.

Demoly (Ernest), 43, rue de Trévise, Paris (9e).

Maljournal et Bourron (Etablissements), 128, rue Thiers, Lyon (Rhône).

Métallurgique électrique (La), 14, rue Taitbout, Paris (9e).

Matériel roulant pour Chemins de fer.

Aciéries et Forges de Firminy (Société anonyme des), 79, rue de Monceau, Paris (8e).

Fives-Lille (Compagnie), 54, rue Caumartin, Paris (8e).

Forges de Chatillon, Commentry et Neuves-Maisons (Compagnie des), 19, rue La Rochefoulcauld, Paris (9e).

Schneider et Cie, 42, rue d'Anjou, Paris (8e).

Société alsacienne de Constructions mécaniques, Belfort (Haut-Rhin) et 4, rue de Vienne, Paris (8e).

Signaux et Enclenchements pour Chemins de Fer.

Société d'Electricité Mors, 28, rue de la Bienfaisance, Paris, (8e).

MACHINES MOTRICES

MACHINES HYDRAULIQUES

Conduites forcées.

Bonnet-Spazin (Ateliers), Lyon (Rhône).

Bouchayer et Viallet, 155, cours Berriat, Grenoble (Isère).

Joya (Régis), Grenoble (Isère).

Leflaive et Cie (Forges et Ateliers de la Chaléassière), Saint-Etienne (Loire) et 78, rue d'Anjou, Paris (8e).

Singrun, Golbey, près Epinal (Vosges).

Turbines hydrauliques.

Escher Wyss et Cie, Zurich (Suisse) et 39, rue de Châteaudun, Paris (9e).

Neyret Beylier et Piccard-Pictet (Ateliers), Grenoble (Isère).

Digitized by Google

PICCARD, PICTET ET Cie (Société anonyme des Ateliers), 109, route de Lyon, Genève (Suisse).

SINGRUN, Golbey près Epinal (Vosges).

TEISSET-ROSE BRAULT (Établissements), 14, rue du Ranelagh, Paris (16e).

MACHINES A GAZ A EXPLOSION ET A COMBUSTION INTERNE

Gazogènes.

SOCIÉTÉ DE MOTEURS A GAZ ET D'INDUSTRIE MÉCANIQUE, 13, rue de la Convention, Paris (15e).

Moteurs.

COMPAGNIE FRANÇAISE DES MOTEURS « NATIONAL », 138, boulevard Richard-Lenoir, Paris (11e).

DELAUNAY-BELLEVILLE (Etablissements), St-Denis (Seine).

KATER ET ANKERSMIT, 39, avenue de Villiers, Paris (17e).

LEFLAIVE ET Cie (Forges et Ateliers de la Chaléassière), Saint-Etienne (Loire) et 78, rue d'Anjou, Paris (8e).

PEUGEOT (Société anonyme des Automobiles et Cycles), 71, avenue de la Grande-Armée, Paris (17e).

PITOT ET LEROY, 7, rue Scribe, Paris (9e).

RENAULT (L.), 15, rue Gustave-Sandoz, Billancourt (Seine).

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Belfort (Haut-Rhin) et 4, rue de Vienne, Paris (8e).

SOCIÉTÉ DE MOTEURS A GAZ ET D'INDUSTRIE MÉCANIQUE, 135, rue de la Convention, Paris (15e).

SOCIÉTÉ DES MOTEURS CHALÉASSIÈRE, Saint-Etienne (Loire).

WESTINGHOUSE (Société anonyme); 7, rue de Liége, Paris (8e).

MACHINES A VAPEUR

Chaudières.

BONNET-SPAZIN (Ateliers), Lyon (Rhône).

BOUCHAYER ET VIALLET, 155, cours Berriat, Grenoble (Isère).

DELAUNAY-BELLEVILLE (Etablissements), St-Denis (Seine).

ESCHER WYSS ET Cie, Zurich (Suisse), 39, rue de Châteaudun, Paris (9e).

FONDERIES ET ATELIERS DE LA COURNEUVE, 6, rue de Laferrière, Paris (9e).

JOYA (Régis), Grenoble (Isère).

LEFLAIVE ET Cie (Forges et Aciéries de la Chaléassière), Saint-Etienne, et 78, rue d'Anjou, Paris (8e).

SCHNEIDER ET Cie, 42, rue d'Anjou, Paris (8e).

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Belfort (Haut-Rhin) et 4, rue de Vienne, Paris (8e).

Accessoires pour chaudières.

FOYERS AUTOMATIQUES (Société anonyme des), 31, place Saint-Ferdinand, Paris (17e).

GREEN AND SON, 32, rue de Londres, Paris (9e).

HOPKINSON ET Cie LTD, Huddersfield (Angleterre) et 94, rue Saint-Lazare, Paris (9e).

THOMSON-HOUSTON (Compagnie française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9e).

Brûleurs pour chaudières.

COMBUSTION RATIONNELLE (La), 3, rue d'Edimbourg, Paris (8e).

STEURS (J.), 10, boulevard de la Côte, Lyon, Villeurbanne (Rhône).

Tirage mécanique.

SOCIÉTÉ DES CHEMINÉES LOUIS PRAT, 144-146, avenue des Champs-Élysées, Paris (8e).

PRAT-DANIEL (Établissements Émile), 64, rue de Miromesnil, Paris (8e).

Machines à vapeur.

BONNET-SPAZIN (Ateliers), Lyon (Rhône).

DELAUNAY-BELLEVILLE (Etablissements), à Saint-Denis (Seine).

FIVES-LILLE (Compagnie de), 54, rue Caumartin, Paris (8e).

LEFLAIVE ET Cie (Forges et Ateliers de la Chaléassière), Saint-Etienne (Loire) et 78, rue d'Anjou, Paris (8e).

SAUTTER HARLÉ (Anciens Etablissements), 26, avenue de Suffren, Paris (15e).

SCHNEIDER ET Cie, 42, rue d'Anjou, Paris (8e).

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Belfort (Haut-Rhin) et 4, rue de Vienne, Paris, (8e).

WEYHER ET RICHEMOND (Anciens Etablissements), 52, route d'Aubervilliers, Pantin (Seine).

Turbines à vapeur.

BRÉGUET (Maison), 19, rue Didot, Paris (14e).

COMPAGNIE ELECTRO-MÉCANIQUE, 12, rue Portalis, Paris (8e).

CORRIE (J.-B.) ET Cie, 15, Victoria Street, Londres (Angleterre) et 56, rue du Faubourg Saint-Honoré, Paris (8e).

ESCHER WYSS ET Cie, 39, rue de Châteaudun, Paris (9e).

FIVES-LILLE (Compagnie), 54, rue Caumartin, Paris (8e).

LEFLAIVE ET Cie (Forges et Ateliers de la Chaléassière), Saint-Etienne (Loire) et 78, rue d'Anjou, Paris (8e).

ORRLIKON (Société), Suisse et 9, rue Pillet-Will, Paris (9e).

SAUTTER-HARLÉ, 26, avenue de Suffren, Paris (15e).

RATEAU (Société), 40, rue du Colisée, Paris (8e).

SCHNEIDER ET Cie, 42, rue d'Anjou, Paris (8e).

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Belfort (Haut-Rhin) et 4, rue de Vienne, Paris (8e).

THOMSON-HOUSTON (Société française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9e).

WESTINGHOUSE (Société anonyme), 7, rue de Liége, Paris (9e).

MATIÈRES PREMIÈRES ET OUTILLAGE

Courroies et Transmission.

COVENTRY CHAIN Co LTD (The) (M.-A. Amondruz), 39, rue des Acacias, Paris (17e).

WYSS ET Cie, Seloncourt (Doubs).

Décolletage.

CUTTAT (Anciens établissements), 53, rue Servan, Paris (11e).

RANDEGGER ET NIESTLÉ, 188, boul Voltaire, Paris (11e).

WITTMER (G.), Seloncourt (Doubs).

Engrenages.

CORRIE (J.-B.) ET Cie, 15, Victoria Street, Londres (Angleterre), et 56, rue du Faubourg Saint-Honoré, Paris (8e).

L'ENGRENAGE, 62, rue Eugène-Muller, Saint-Etienne (Loire).

Ferrures.

GALOPIN ET Cie, 3, boulevard Hames-Fazy, Genève (Suisse).

JACQUEMARD (Jean), La Ricamarie (Loire).

JOLY (Émile) ET Cie, 91, rue Lafayette, Paris (10e).

Digitized by Google

MALJOURNAL ET BOURRON (Établissements), 128, avenue Thiers, Lyon (Rhône).

SCHNEIDER ET Cie, 42, rue d'Anjou, Paris, (8e).

Fours Industriels.
Matériel pour Forges et Fonderies.

ATELIERS « AIR ET FEU », Argenteuil (Seine-et-Oise).

MÉKER (G.) ET Cie, 105, boulevard de Verdun, Courbevoie (Seine).

STEIN ET Cie (Ch.-M), 3, rue d'Edimbourg, Paris (8e).

STEURS (J.), 10, boulevard de la Côte, Lyon-Villeurbanne (Rhône).

Glaces, Verres et Verrerie.

POULENC FRÈRES (Établissements), 122, boulevard Saint-Germain, Paris (6e) et 92, rue Vieille-du-Temple, Paris (4e).

L. TAULIN ET Cie, 7, rue de Nemours, Paris (11e).

Gravures.

MÉTALLOGRAVURE, 19-21, avenue d'Argenteuil, Asnières (Seine).

Huiles pour Machines et Appareils Électriques.

CARROLL (Établissements H.), 31, avenue de l'Opéra, Paris (2e).

POULET ET TAYART, 16, rue Halévy, Paris (9e).

VIENNE (J. de), 64, boulevard de Strasbourg, Paris (10e).

Machines à glace.

PICTET (Cie Industrielle des Procédés Raoul), 28, rue de Grammont, Paris (2e).

Machines-outils, Outillage.

ACIÉRIES ET FORGES DE FIRMINY (Société anonyme des), 79, rue de Monceau, Paris (8e).

AEBI (Frédéric), Zurich Altstetten (Suisse).

BLISS ET Cie, 6, rue des Bateliers, Saint-Ouen (Seine).

BRUNSCHWIG (Établissements métallurgiques), 28, rue des Trois-Bornes, Paris (11e).

CADIOT (Marcel), 31, rue de Maubeuge, Paris (10e).

COMPAGNIE FRANÇAISE NATIONAL, 138, boul. Richard-Lenoir, Paris (11e).

COUFFINHAL, Saint-Etienne (Loire).

ECLAIRAGE ÉLECTRIQUE (L'), 8, rue d'Aguesseau, Paris (8e).

ERNAULT (H.), 169, rue d'Alésia, Paris (14e).

FENWICK FRÈRES ET Cie (Société anonyme des Établissements), 8, rue de Rocroy, Paris (10e) et 112, boulevard des Belges, Lyon (Rhône).

JOLY (Émile) ET Cie, 91, rue Lafayette, Paris (10e).

LEFLAIVE ET Cie (Forges et Ateliers de la Chaléassière), Saint-Etienne (Loire) et 78, rue d'Anjou, Paris (8e).

MEYTRE (E.), 18, quai Saint-Jean, Genève (Suisse).

SCHNEIDER ET Cie 42, rue d'Anjou, Paris (8e).

SCHUTZ (Maison), Nyon (Suisse).

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Belfort (Haut-Rhin) et 4, rue de Vienne, Paris (8e).

S. O. M. U. A. (Société d'Outillage mécanique et d'Usinage d'Artillerie), 19, avenue de la Gare, Saint-Ouen (Seine).

WAGNER ET Cie, 5, rue Victor-de-Laprade, Saint-Etienne (Loire).

Meules à rectifier

DURRSCHMIDT (G.) ET Cie, 5, rue des Dahlias, Lyon (Rhône),

Métallurgie.

ACIÉRIES DE CHAMPAGNOLE, La Courneuve (Seine) et Champagnole (Jura).

ACIÉRIES ET FORGES DE FIRMINY (Société anonyme des), 79, rue de Monceau, Paris (3e).

ACIERS COMPRIMÉS (Société anonyme des), 24, rue du Rocher, Paris (9e).

ALUMINIUM FRANÇAIS, 12, rue Roquépine, Paris (8e).

COLLINET (Maison), 9, rue Denfert-Rochereau, Paris (14e).

COMPTOIR INDUSTRIEL D'ETIRAGE ET PROFILAGE DES MÉTAUX, 107, 109, 111, 113, avenue Philippe-Auguste, Paris 11e)

CORRIE (J.-B.) ET Cie, 15, Victoria Street, Londres (Angleterre) et 56, rue du Faubourg Saint-Honoré, Paris (8e).

DURALUMIN (Société du), 3, rue de la Boétie, Paris (8e).

FONDERIES ARDENNAISES DE LAVAL (Mayenne), 9, cité Trévise, Paris (9e).

FORGES DE CHATILLON, COMMENTRY ET NEUVES-MAISONS (Compagnie des), 19, rue La Rochefoucauld Paris (9e).

GIROD (Paul), (Compagnie des Forges et Aciéries électriques), Ugines (Savoie).

HOLTZER (Établis. Jacob), 43, rue des Marais, Paris (10e).

PAUMELLERIE ÉLECTRIQUE, La Rivière-de-Mausac (Corrèze).

PRODUITS MÉTALLURGIQUES (Société des), 18, rue Boissière, Paris (16e).

RICHARD (Fonderie L.), 6, impasse Mont-Louis, Paris (11e).

THIRIET (Victor), 4, rue des Callais, Ermont (Seine-et-Oise).

THE SHEFFIELD TIWSS DRILL AND STEEL Co LD, 77, avenue de la République, Paris.

Métaux électrolytiques.

GIROD (Paul) (Compagnie des Forges et Aciéries électriques), Ugines (Savoie).

SOCIÉTÉ D'ELECTRO-MÉTALLURGIE DE DIVES, 11 *bis*, rue Roquépine, Paris (8e).

SOCIÉTÉ ÉLECTRO-MÉTALLURGIQUE FRANÇAISE, Froges (Isère) et 109, boulevard Haussmann, Paris (8e).

Peintures.

SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DES PEINTURES FERROSOTER, 2, rue Corneille, Marseille (Bouches-du-Rhône).

Produits chimiques.

POULENC FRÈRES (Établissements), 122, boulevard Saint-Germain, Paris (6e) et 92, rue Vieille-du-Temple, Paris (4e).

SOCIÉTÉ D'ÉLECTRO-CHIMIE, 2, rue Blanche, Paris (9e).

Ressorts.

GUILLOTTE, 2, cours des Chartreux, Lyon (Rhône).

MONIER (Ateliers P.), 7, rue Mont-Louis, Paris (11e).

Roulements à billes.

SOCIÉTÉ MÉCANIQUE DE GENNEVILLIERS, 12, rue d'Aguesseau, Paris (8e).

SOCIÉTÉ S. K. F., rue de la Gare, Levallois (Seine).

Soudure autogène.

GIREL (A.) ET Cie, 61 et 63, boulevard Victor, Paris (15e).

Soudure électrique.

LA SOUDURE ÉLECTRIQUE, 40, boulevard Auguste-Blanqui, Paris (13e).

Digitized by Google

Ventilateurs et Machines soufflantes.

CADIOT (Marcel), 31, rue de Maubeuge, Paris (10e).

COMPAGNIE ÉLECTRO-MÉCANIQUE, 12, rue Portalis, Paris (8e).

CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES, 22, quai de la Bataille, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

COUFFINHAL (Laurent), Saint-Etienne (Loire).

LEFLAIVE ET Cie (Forges et Aciéries de la Chaléassière), Saint-Etienne (Loire) et 78, rue d'Anjou, Paris (8e).

RATEAU (Société), 40, rue du Colisée, Paris (8e).

RANDEGGER ET NIESTLÉ, 188, boul. Voltaire, Paris (11e).

SAUTTER-HARLÉ (Anciens Etablissements), 26, avenue de Suffren, Paris (15e).

SCHNEIDER ET Cie, 42, rue d'Anjou, Paris (8e).

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Belfort (Haut-Rhin) et 4, rue de Vienne, Paris (8e).

THOMSON-HOUSTON (Société française pour l'Exploitation des Procédés), 10, rue de Londres, Paris (9e).

DIVERS

Assurances.

F. PIEL (gendre) ET J.-A. LIÈVRE, 27, rue de Châteaudun, Paris (9e).

LE SOLEIL, 23, rue de Mogador, Paris (9e).

Bureaux d'étude.

BŒTTCHER, fils, 39, boulevard Saint-Martin, Paris (10e).

GUICHARL (Jean), 11, rue Lafayette, Paris (9e).

Bureaux de publicité et d'impression.

GAUTHIER-VILLARD ET Cie, 55, quai des Grands-Augustins, Paris (9).

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ, 12, place de Laborde, Paris (8e).

Renseignements commerciaux.

LEBLANC, 10, place des Victoires, Paris (2e).

Reproduction et impression.

WEBER, 14, rue de Clichy, Paris (9e).

Digitized by Google

TABLE DU BULLETIN R. G. E.

Généralités. — Les exportations anglaises de matériel électrique en janvier 1919 ..... 97B
L'exportation suisse de produits du four électrique en 1918 ..... 126B
L'industrie électrique au Japon 17B
La situation de l'industrie électrique allemande ... 59B
Proposition de fabrication de matériel électrique à la Manufacture nationale d'armes de Saint-Etienne 78B
Un projet grandiose d'électrification de la Belgique 126B
Reprise du travail aux Ateliers de Constructions électriques de Charleroi 59B
Remise en marche des ateliers de Jeumont 45B
A propos de la reconstitution des industries électriques en Belgique 59B
A propos du relèvement des tarifs de l'énergie électrique à Paris 27B
Un accident dans une usine électrique norvegienne. 126B
Extension de la fabrication des condenseurs Breguet 45B
Les dégâts causés par les Allemands dans l'industrie de la construction mécanique en Belgique. 133B

Énergie hydraulique. — Les concessions de chutes d'eau en Dauphiné pendant la guerre 69B
Organisation du service de l'utilisation des forces hydrauliques du Sud-Est 45B
Construction d'une usine hydroélectrique sur la Loire 103B
Construction d'une usine hydroélectrique en Lozère par la Société des Forges et Aciéries de Firminy. 109B
Projet d'une usine génératrice sur l'Isère 87B
Projet de création d'une chute sur la Basse-Isère. 59B
Création d'une usine hydro-électrique sur la Vienne. 87B
Installation d'une usine hydro-électrique sur le canal de Nantes à Brest 54B
Aménagement d'une usine hydro-électrique à Eloise (Haute-Savoie) 9B
L'aménagement de la Haute-Dordogne 127B
Sur un projet d'utilisation des forces motrices du Haut-Rhin 1B, 45B
L'aménagement des forces motrices du Rhône 28B, 109B
La puissance hydraulique utilisée en Italie 2B
Le développement de l'utilisation des forces motrices hydrauliques en Suède 22B
Concessions hydroélectriques en Espagne 22B

Énergie thermique. — Le charbon en Alsace-Lorraine 68B
Recherche de la houille dans le Haut-Rhin 130B
Les combustibles au Canada 3B
La Houille en Hollande 3B
Le charbon en France 30B
La production des charbonnages du Centre 18B
La production française de charbon en 1916, 1917 et 1918 ..... 75B
Reprise de l'extraction à Anzin 130B
La production de la houille en Grande-Bretagne en 1917 ..... 23B
La diminution de l'extraction du charbon en Grande-Bretagne 130B
L'anthracite sur le littoral oranais 127B
La production des charbonnages belges 30B
La situation actuelle des charbonnages et cokeries belges 106B
Le charbon au Spitzberg 7B
Les gisements de charbon et de lignite en Syrie ... 78B
Les gisements de charbon au Tonkin 29B
La production du charbon en Turquie 30B
Les charbons allemands et la Belgique 117B
La situation charbonnière de l'Allemagne 127B
Les conditions du traité de paix relatives aux charbons et dérivés 97B
Le régime des mines de charbon du bassin de la Sarre, d'après les préliminaires du traité de paix. 93B
Récriminations allemandes contre les stipulations du traité de paix concernant les charbons 106B
Les nouvelles conditions d'importation des charbons anglais 127B
Arrêté fixant les prix de vente maxima des charbons 37B
Arrêté fixant les prix de vente maxima du charbon. 78B
Fixation du prix du charbon 90B
Hausse prochaine des charbons anglais 109B
Les prix des charbons en Belgique 23B
Le prix de vente du charbon allemand en Suisse ... 117B
La reconstitution des mines de Lens 117B
Procédé d'utilisation du charbon employé à l'usine Saint-Jacques 109B
Le lignite en Algérie et en Tunisie 7B
Exploitation des tourbières dans les environs de Rouen 45B
La production mondiale du pétrole 18B
Le pétrole en Algérie, en Angleterre, à Bakou, en Dauphiné et aux Etats-Unis 7B
Régime douanier des produits pétrolifères en France. 90B
La concurrence du pétrole et du charbon 117B
L'huile de schiste en Suède 7B

Matières premières. — Extension de la concession des mines de fer de Sahorre 46B
Les mines métalliques de l'Oural 46B
Les richesses métallurgiques de l'Indo-Chine française 46B
Les richesses métallurgiques de la Syrie 71B
La production des mines métalliques de l'Algérie. 7B
Union économique des industriels métallurgistes du Sud-Ouest 46B
L'industrie et le commerce allemands des métaux. 107B
Le développement de l'industrie sidérurgique aux Indes 130B
Constitution d'un Syndicat pour l'exportation de l'acier 18B

Digitized by Google

Chambre syndicale des marchands de fer de Belgique. 37B
L'approvisionnement de la Suisse en minerais.... 118B
La situation actuelle de l'industrie métallurgique belge 116B
La production minière et métallurgique aux Etats-Unis 46B
La production du minerai de fer et la production de la fonte en Grande-Bretagne en 1917.... 23B
La production de l'acier au Japon..... 29B
Les stocks de fer et d'acier en Grande-Bretagne.. 18B
Remise en marche des hauts fourneaux dans la région de l'Est..... 131B
La sidérurgie en Alsace-Lorraine..... 37B
Entreprise sidérurgique à Bône..... 7B
Entreprise sidérurgique en Espagne..... 7B
Aciéries d'Hennebont..... 7B
Entreprise sidérurgique en Hollande..... 7B
La sidérurgie au Luxembourg..... 29B
La remise en fonctionnement du premier haut fourneau dans les régions libérées..... 103B
La remise en marche des usines d'Anzin, de la Société anonyme d'Escaut et Meuse..... 127B
Les hauts fourneaux de Lorraine manquent de coke. 118B
Nos usines métallurgiques de l'Est..... 18B
Les mines de fer et les hauts-fourneaux du bassin de Briey 46B
Hauts fourneaux de Rouen..... 7B
Prévisions concernant les cours des fers, fontes et aciers..... 118B
Augmentation du prix des aciers en Allemagne.... 92B
La Bourse des métaux et charbons de Bruxelles.. 23B
Le cuivre aux Etats-Unis..... 7B
La production de l'étain en Indo-Chine..... 8B
Le manganèse en Tunisie..... 7B
Le platine en Espagne..... 29B
Les matières réfractaires de Belgique et d'Allemagne 28B
La fabrication française des objets en graphite.... 46B
Caoutchouc..... 18B, 23B
La production mondiale du caoutchouc..... 30B
Le prix du caoutchouc en 1918..... 46B
La Bakelite 18B
Le mica à Madagascar et à Mayotte..... 7B

Production et distribution de l'énergie électrique. — Réglementation italienne concernant les machines électriques..... 14B
Dynamos entraînées par roue aérienne..... 9B
La fabrication des balais de dynamos en Allemagne pendant la guerre..... 36B
Les interrupteurs pour circuits à basse tension.... 13B
L'emploi du sodium comme conducteur électrique. 107B
Remise en marche des Verreries de Reims (Etablissements Charbonneaux et Cie), pour la fabrication des isolateurs..... 103B
Fourniture d'énergie électrique d'un chemin de fer électrique à une industrie privée..... 10B
Concession de distribution d'énergie électrique dans la région nantaise..... 126B
Contrôle des distributions d'énergie électrique.... 7B
Le réseau de la Société normande de Distribution d'électricité 87B

Applications mécaniques. — Les plateaux électromagnétiques pour machines-outils..... 21B
Plateaux et mandrins à adhérence magnétique... 121B
Le développement de l'emploi des pétrins mécaniques à commande électrique..... 108B
A propos des applications de l'énergie électrique dans les exploitations agricoles des régions libérées 78B
Semaine de motoculture de printemps... 10B 67B

Traction. Locomotion. — L'électrification des chemins de fer français..... 36B
L'électrification de la banlieue Etat..... 10B
Electrification des lignes du P.-L.-M. dans les Cévennes 2B
Electrification des chemins de fer belges..... 87B
Un nouveau chemin de fer électrique entre la Suisse et l'Italie 14B
Chemin de fer électrique d'Ostia à Rome..... 17B
Projet de chemin de fer électrique de Madrid à la frontière française..... 22B
Projets d'électrification des chemins de fer californiens 17B
Roues de trolley de grand diamètre..... 9B
Eclairage électrique des wagons..... 103B
Contrôle des travaux des lignes pyrénéennes de traction électrique..... 78B
L'exploitation des tramways de Bruxelles pendant l'occupation allemande..... 54B
Relèvement des tarifs de tramways de Paris et de la banlieue..... 2B
Relèvement temporaire des tarifs des tramways électriques de Châlons-sur-Marne et d'Orléans.... 90B
Proposition d'augmentation des tarifs du Métropolitain de Paris..... 79B
Chemin de fer monorail, type Kearney..... 14B
L'emploi des tracteurs routiers sur les voies de tramways en Allemagne..... 5B

Télégraphie. Téléphonie. — Le développement du téléphone dans le monde..... 36B
Appareil automatique à Paris. Téléphonie..... 3B
Le tunnel sous la Manche et les communications téléphoniques avec l'Angleterre..... 68B
Enseignement de la télégraphie sans fil à l'Ecole supérieure d'Electricité..... 63B
La radiotélégraphie en France..... 54B
Utilisation du matériel militaire à la création de postes radiotélégraphiques..... 37B
Réception optique des signaux radiotélégraphiques. 83B
Le développement de la radiotélégraphie aux Etats-Unis 45B
La téléphonie sans fil en Chine..... 45B

Éclairage. — Fabrication de douilles de lampes, à la cartoucherie de Vincennes..... 15B
La fabrication des lampes électriques au Japon... 29B

Applications thermiques. — La soudure à l'arc électrique 133B

Électrochimie. Électrométallurgie. — Un nouveau débouché pour les usines électrochimiques : la fabrication du glucinium..... 130B
Projet de création, à Grenoble, d'un Institut d'électrochimie et d'électrométallurgie..... 60B
La fabrication de la cyanamide en France..... 5B
La production du nitrate de sodium de 1913 à 1917. 14B
Fabrication synthétique de l'alcool..... 37B
L'usine à nitrate synthétique de Muscle Shoals (Etats-Unis) 36B
Prix des engrais azotés provenant des poudreries.. 37B
L'alcool et l'acide acétique dérivés du four électrique..... 1B
L'application du courant électrique au salage des viandes 29B
Traitement électrolytique des semences..... 22B
L'électrométallurgie du nickel et du chrome en Nouvelle-Calédonie 76B
Les fours électriques à acier en Angleterre..... 14B
Prix du carbure de calcium en Suisse..... 37B

Mesures et essais. — Création d'un laboratoire d'essais mécaniques à Grenoble..... 87B, 98B
Tarif 1919 des essais et étalonnements du Laboratoire central d'Electricité..... 95B

Questions et réponses. — p. 4B, 12B, 20B, 100B

Digitized by Google

Dans le monde électrique. — p. 10B, 19B, 31B, 39B, 47B, 83B, 99B, 131B

Légion d'honneur. — p. 10B, 31B, 131B

Brevets récents. — p. 3B, 8B, 11B, 15B, 19B, 24B, 32B, 40B, 48B, 55B, 64B, 72B, 79B, 84B, 88B, 92B, 99B, 104B, 112B, 119B, 128B, 132B, 135B

Ouvrages récents. — 3B, 11B, 32B, 48B, 56B, 99B, 104B, 120B, 128B..... 132B

Économie sociale, industrielle et financière. — Généralités. — Les clauses économiques de la prolongation d'armistice..... 5B
Les clauses économiques du traité de paix..... 101B
Les dépenses de la guerre mondiale..... 78B
Abrogation des règlements concernant la production et l'emploi des corps radioactifs..... 79B
L'Europe et le péril bolcheviste..... 84B
Projet de constitution d'un Conseil national économique..... 9B
Projet de loi relatif aux travaux publics exécutés pendant la guerre..... 83B
L'Union syndicale des Techniciens..... 47B
Proposition de loi sur l'extension de la capacité civile des syndicats professionnels..... 30B
Sur le projet de loi concernant l'extension de la capacité civile des syndicats professionnels... 86B
Proposition de loi relative à l'extension de la capacité civile des syndicats professionnels. 92B
La proposition de loi sur l'extension de la capacité civile des syndicats professionnels..... 108B
Proposition concernant la création d'un brevet international..... 38B
Le congrès interallié et le brevet international.... 109B
Prix pour 1919. Association italo-française d'expension économique..... 109B
Création du corps d'agents de bureau des Ponts et Chaussées 71B
Projet de loi concernant les déclassements de l'enceinte fortifiée de Paris..... 83B, 92B

Richesses naturelles. Propriété. — Le minerai de fer en Italie..... 129B
La richesse mobilière du monde..... 24B
Le régime minier du Maroc..... 1B
Le projet de loi sur les mines..... 15B
La reconstitution des mines d'Anzin..... 45B
La reconstitution industrielle de la Belgique et l'aide américaine..... 129B
Une opinion américaine sur le problème de la reconstitution 68B
Les dévastations dans les pays libérés..... 59B
Projet de loi sur le remembrement de la propriété dans les régions dévastées..... 30B
Loi relative aux propriétés foncières des régions dévastées..... 38B
Avances au Comptoir central d'achats industriels des régions envahies..... 38B
Réparation des dommages causés par la guerre 91B, 127B
Projet de loi portant création d'un office de reconstitution des immeubles détruits..... 118B
Projet de loi sur la réparation des dommages causés par les faits de la guerre..... 60B
Le projet de loi sur la réparation des dommages causés par les faits de guerre..... 79B
Loi sur la réparation des dommages causés par les faits de la guerre..... 83B
La récupération du matériel industriel volé par les Allemands..... 27B, 78B, 90B
Liquidation des stocks de guerre..... 22B, 61B
Loi sur la liquidation des stocks de guerre..... 83B
Projet de loi concernant les habitations à bon marché..... 91B
Loi réglant la situation des acquéreurs d'habitations de famille et de terrains..... 110 B
Projet de loi réglant la situation des acquéreurs d'habitations de famille et de terrains..... 92B

Travail, Travailleurs. — Office de placement des ouvriers électriciens..... 18B
Projet de loi concernant les Conseils de Prud'hommes 135B
Sur les moyens de faire respecter les contrats collectifs 129B
Proposition de loi tendant à assurer l'emploi obligatoire des mutilés de la guerre..... 61B
L'instabilité du personnel ouvrier dans les usines américaines 44B
L'instabilité de la main-d'œuvre aux États-Unis et ses conséquences économiques..... 106B
La répartition des bénéfices entre le capital et le travail..... 94B
La situation du marché du travail..... 125B
Les salaires en Allemagne 125B
Les salaires dans les ateliers de constructions métalliques de la région de Grenoble..... 126B
L'augmentation des salaires en Angleterre..... 126B
Le patronat et le droit ouvrier international..... 46B
La législation internationale du travail..... 73B
La législation internationale du travail à la Conférence de la Paix..... 90B
La préparation de la Conférence internationale du Travail..... 97B
La Chambre de Commerce de Paris et la Conférence internationale du Travail..... 17B
La journée de 8 heures à la Commission internationale du Travail 69B, 74B, 81B, 85B, 89B, 113B
Conventions collectives du travail..... 30B
Proposition de modification à la loi sur les associations ouvrières..... 30B
Proposition de loi concernant les sociétés coopératives ouvrières de production..... 79B
Projet de loi concernant les Conseils de Prud'hommes 103B
Proposition de loi concernant le travail de nuit dans les boulangeries..... 61B
Le projet de loi sur la journée de huit heures. 74B, 85B
La journée de huit heures dans la métallurgie et la mécanique 81B, 113B
La journée de huit heures dans les entreprises de distribution d'énergie électrique de la région parisienne..... 115B
A propos de la journée de huit heures (*F. Bayle*).. 82B
La production ouvrière et la journée de huit heures. 89B
Sur une application de la journée de huit heures dans une filature de soie artificielle..... 121B
La journée de huit heures en Suisse..... 89B
Projet de loi concernant le repos hebdomadaire... 55B
Le congé du 1er mai dans les services du Ministère de la Guerre..... 87B
Congé aux ouvriers et employés..... 38B
Le chômage dans les industries de guerre..... 9B
Les secours de chômage à Paris..... 76B
Proposition de loi sur les accidents du travail..... 127B
Accidents du travail..... 30B
Projet de loi concernant les responsabilités des accidents du travail..... 91B
Proposition de loi concernant les frais d'hospitalisation des victimes d'accidents du travail.... 46B
Les frais d'hospitalisation des victimes d'accidents du travail 96B
Pensions de la Caisse nationale des Retraites pour la vieillesse..... 135B
Donations aux œuvres d'assistance, de développement de la natalité, de la protection de l'enfance.. 60B
Création d'une cité-jardins sur les communes de Suresnes et de Rueil..... 15B

Digitized by Google

A propos des grèves 122B
Œuvres patronales en faveur du personnel 97B
Proposition de loi concernant le logement des familles nombreuses 30B
La cherté de la vie 109B
Le prix de la vie aux Etats-Unis 17B
La Confédération générale des Patrons 123B
Modification du nombre des inspecteurs du travail. 134B

INDUSTRIE. — Avis aux industriels concernant les constructions nouvelles dans la région parisienne 30B
Liste des maisons allemandes de l'Amérique latine. 70B
Suspension des listes noires 91B
L'organisation actuelle de l'industrie et de la haute finance allemandes en vue de l'invasion économique de la France après la guerre 13B
Avances pour fonds de roulement aux industriels et chefs d'entreprise 28B
Le nouveau régime de distribution des combustibles à la « grande industrie » 102B
L'Office industriel du canton de Genève 77B
Projet de loi ayant pour objet la protection des appellations d'origine 91B
La manutention mécanique 8B

COMMERCE. — Concours pour l'obtention de bourses commerciales et de bourses industrielles à l'étranger 127B
Proposition de loi instituant un régime transactionnel entre commerçants et créanciers 127B
Association nationale d'expansion économique 71B
Règlement transactionnel entre les commerçants et leurs créanciers 70B
Création d'un syndicat des intérêts du Commerce et de l'Industrie 70B
Propositions de lois concernant la protection de la propriété commerciale 47B
Dépôts de marques de fabrique et de commerce en Alsace-Lorraine 15B
La liberté d'importation des matières premières .. 105B
Suppression des prohibitions à l'importation 134B
Bureau commercial des importations françaises d'Uskub 111B
Importations en Italie 23B
Proposition de loi relative au régime des admissions temporaires 61B
Vœu de la Chambre de Commerce de Paris, relatif au régime des admissions temporaires 119B
Extension de la liste des objets pouvant être exportés 111B
Le commerce de la Suisse en 1917 ..... 23B
Le commerce extérieur de la France 24B
Projet de loi relatif aux Sociétés commerciales des régions envahies 91B
Réorganisation du service d'informations commerciales en Italie 15B
Un extrait du Bulletin de la Chambre de Commerce allemande de Genève 57B
Les vœux de l'Assemblée des présidents des Chambres de Commerce 74B
Registre du commerce 30B
Projet de loi concernant la réorganisation de l'Office national du Commerce extérieur 83B
Office commercial français en Espagne 87B
Groupements de chambres de Commerce 79B
Groupements régionaux des Chambres de Commerce 83B
Groupement des Chambres de Commerce d'Alsace et de Lorraine 118B
Chambre de Commerce française au Japon 47B
Chambre de Commerce franco-serbe 62B
Bureau commercial français de Belgrade 61B
Bureau commercial de l'Armée d'Orient 61B
Création d'une section commerciale au Consulat de France à Liége 111B
Débouchés commerciaux en Alsace-Lorraine 24B
Débouchés commerciaux en Grèce et en Bulgarie .. 97B
Débouchés commerciaux en République Argentine. 119B
Débouchés commerciaux en Belgique 6B
Relations commerciales avec le Luxembourg et les territoires occupés de la rive gauche du Rhin .. 38B
Commerce avec les pays rhénans 111B
Union commerciale franco-serbe 62B
Relations commerciales avec la Colombie 111B
Franco-American Board of Commerce and Industry. 88B

EXPOSITIONS, FOIRES, ÉCHANTILLONS, ETC. — L'exposition internationale d'Électricité de Barcelone 47B
Exposition française de Sarrebruck 119B
Foire de Bruxelles 47B
La Foire de Paris 93B
Après la Foire de Lyon, la foire de Bordeaux 15B
Foire de Lyon, 15B, 25B, 33B, 41B, 49B, 57B, 65B, 73B
Exposition permanente d'échantillons français à Buenos-Ayres 111B
Création à Liége d'une exposition d'échantillons ... 84B
Une exposition permanente d'échantillons, à Nice. 15B
La réclame par l'échantillon 21B
L'unification des dimensions des catalogues aux Etats-Unis et au Canada 6B
Comment faire votre publicité dans les régions libérées 55B
Les catalogues allemands en Italie 58B
Notices et catalogues 11B, 19B, 40B, 64B, 99B

FINANCES, IMPOTS, DOUANES, ASSURANCES, ETC. — Loi et décrets sur la prime de démobilisation ... 60B
Le papier-monnaie pendant la guerre 89B
Projet de constitution d'une banque d'exportation. 77B
Proposition de loi concernant la détermination de la nationalité des actionnaires et administrateurs 38B
La participation de l'État aux bénéfices des entreprises concédées 94B
Opérations de la Caisse nationale des Retraites pour la vieillesse pendant l'année 1916 ..... 97B
Commission supérieure des caisses nationales d'assurances 30B
Assurances-Incendie 96B
Prorogation des délais de paiements des Sociétés d'assurances 110B
Réduction de la taxe d'assurance des navires de la flotte charbonnière 109B
Conditions de délivrance du livret d'assurances sociales 110B
Proposition de loi tendant à modifier les dispositions de la loi sur l'impôt général sur le revenu 61B
Impôt de 5 pour 100 sur la publicité 61B
Les nouvelles lois fiscales et les fonctionnaires de l'Enregistrement 124B
Impôt cédulaire sur les revenus du travail 61B
La taxe sur les objets de luxe 61B
La taxe sur les paiements 61B
Rejet de modification de la taxe sur les paiements, la taxe de luxe et les droits de timbre 116B
Taxes sur les poids, mesures, instruments de pesage et de mesurage 91B
La zone franche de Haute-Savoie condamnée par le Conseil général 84B
Nouvelles financières 11B
Loi autorisant la Ville de Paris à faire un emprunt. 92B
Chèques postaux 10B
A propos de l'augmentation du change 124B

TRANSPORTS, COMMUNICATIONS. — Les conditions du traité de paix concernant les voies et moyens de communications 105B
La reconstitution de nos voies de communications. 54B
Cessation de la réquisition du Métropolitain et du Nord-Sud 90B

Digitized by Google

Bureau économique français de Bucarest..... 62B
La crise des transports et la métallurgie..... 18B
Rétablissement des voies ferrées dans leur situation d'avant-guerre..... 10B
Les résultats de l'exploitation de nos réseaux de chemins de fer..... 60B
Modification des tarifs de petite vitesse..... 37B
La répercussion des revendications syndicales sur les tarifs des chemins de fer..... 79B
Expéditions par chemins de fer..... 91B
Surveillance des appareils à vapeur, situés dans l'enceinte des chemins de fer d'intérêt local.... 118B
Améliorations apportées à l'outillage de nos ports. 29B
Notre marine marchande..... 5B
Projet de loi concernant l'amélioration et l'extension du port du Havre..... 83B
Les voies d'accès de la Suisse à la mer..... 60B
La ligue fluviale..... 77B
La navigation sur la Loire..... 14B
La navigation sur le Rhin..... 15B
Canal du Rhône au Rhin..... 91B
Création d'un grand port fluvial à Lyon..... 97B
Les tarifs de camionnage dans Paris..... 117B
Transports de marchandises par avions..... 110B
Adresses des correspondances à destination de la banlieue parisienne..... 88B, 98B
Reprise des relations postales avec la Pologne, la Tcheco-Slovachie et la Yougo-Slavie..... 98B
Reprise des communications postales et télégraphiques..... 110B
Emploi des enveloppes transparentes dans les relations internationales..... 110B
Les enveloppes transparentes ou à fenêtres..... 70B
Service des colis postaux..... 110B
Extension à l'Alsace et à la Lorraine du service des colis-postaux valeur déclarée, grevés de remboursement..... 98B
Modification des taxes des colis postaux de Paris pour Paris..... 131B
Modification des taxes d'affranchissement des colis postaux à destination de la Suisse et de la Guyane anglaise..... 134B
Relèvement du tarif du port des télégrammes par exprès..... 134B

Sociétés industrielles. — 15B, 19B, 31B, 39B, 47B, 55B, 62B, 71B, 98B, 103B, 111B, 119B, 128B, 131B..... 135B

Chambres de Commerce et Offices Commerciaux. — Chambre de Commerce de Paris. — Vœu relatif au régime des admissions temporaires. 119B
Chambre de Commerce allemande de Genève. — Extrait du Bulletin..... 57B
Chambre de Commerce d'Alsace et de Lorraine. — Groupement de ces Chambres..... 118B
Chambres de Commerce régionales..... 83B
Assemblée des Présidents des Chambres de Commerce. — Vœux émis par cette Assemblée..... 74B
Chambre de Commerce française au Japon..... 47B
Chambre de Commerce franco-serbe..... 62B
Office national du Commerce extérieur. Projets de loi concernant sa réorganisation..... 83B
Office commercial français en Espagne..... 87B

Sociétés diverses, Écoles, Enseignement, etc.
Tous les Français devront-ils passer par l'école primaire publique?..... 133B
Association amicale des ingénieurs de l'École supérieure d'Electricité..... 8B
Le rattachement de la Direction des Inventions au Ministère de l'Instruction publique..... 95B
Examens pour l'obtention du grade d'ingénieur des Ponts et Chaussées..... 98B
Proposition concernant les étudiants mobilisés... 79B
Notre enseignement supérieur. Facultés ou Instituts? 75B
Université de Paris..... 55B
Ecoles nationales des Mines..... 39B
Concours d'admission aux Écoles d'enseignement technique..... 71B
Concours spécial pour l'entrée à l'École Polytechnique..... 31B
Conservatoire national des Arts et Metiers..... 55B
Chaire d'organisation du travail et d'associations ouvrières au Conservatoire national des Arts et Métiers..... 135B
Concours spécial d'admission à l'École Centrale des Arts et Manufactures..... 71B
Nomination de membres du Conseil de l'École Centrale des Arts et Manufactures..... 118B
Ecoles nationales des Arts et Metiers..... 55B
Enseignement maritime..... 60B
L'apprentissage commercial..... 60B

Divers. — La « Kultur » allemande..... 2B
Avis..... 48B

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF :
Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 1. — 4 JANVIER 1919.

Chronique. — La « R. G. E. » en 1918. — Conférences de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. — Bibliographie : L'économie du charbon dans les chaudières, p. 1-2.

Section scientifique et technique. — Emploi des moteurs asynchrones pour améliorer le facteur de puissance. Etude de la formule générale, par Paul RIEUNIER, p. 3. — Sur la résistance et la réactance effectives d'un câble armé triphasé pour les harmoniques du courant, par R. SWYNGEDAUW, p. 16. — Revues, analyses et informations : Influence d'un champ magnétique et d'une agitation mécanique du bain sur la différence de potentiel aux bornes d'une cuve électrolytique, p. 17; La résistivité électrique de l'acier trempé, p. 18.

Section industrielle. — La nouvelle turbine de 2 500 ch de l'usine hydro-électrique de Kubel, près Saint-Gall (Suisse), par P. V., p. 19. — Recherche rapide de la tension à laquelle travaille le métal dans les canalisations électriques sous l'action de l'effort de traction, par Jean HÉLY, p 26. — Sur l'emploi de l'aluminium dans l'industrie de l'électricité, par E. DUSAUGEY, p. 28. — Considérations sur le rendement dans les installations électriques, p. 35. — Revues, analyses et informations : A propos de l'avenir de l'industrie électro-chimique en Suisse, p. 36.

Section de Législation. — Sur l'application des articles 12 et 14 de la loi du 29 juin 1918 aux entreprises de distribution d'énergie électrique, par L. DE LA TASTE, Gaston MAYER et G. FRENOY, p. 39. — Législation, jurisprudence, réglementation : Circulaire relative aux distributions d'énergie électrique empruntant, autrement que par simple traversée, des voies dépendant de la grande voierie et non affectées à la circulation publique, p. 39; Circulaire relative à la commande des poteaux en bois, p. 40.

La « R. G. E. » en 1918. L'année 1918 s'est terminée par la victoire de nos armées. Elle n'en comptera pas moins parmi les plus angoissantes de celles dont le millésime rappellera à nos descendants la cruelle guerre mondiale déchaînée par l'esprit de domination de la race allemande.

Bien que la population parisienne ait stoïquement supporté ces angoisses, les événements du début et du milieu de l'année ont eu nécessairement des répercussions fâcheuses sur la vie économique de la région et, si la « R. G. E. » n'a pas eu trop à en souffrir, elle le doit au dévouement de son personnel qui n'a jamais songé à abandonner son poste aux heures les plus critiques. Que nos remerciements aillent donc d'abord à ce personnel et qu'ils s'étendent aux personnels de notre imprimeur et de nos clicheurs qui, quoique placés dans la zone fréquemment atteinte par les obus des « berthas », ont néanmoins continué à assurer la fabrication matérielle de notre Revue.

Nous exprimons de nouveau notre sincère gratitude à tous ceux qui, par leurs conseils, leur collaboration ou leur appui nous ont secondé dans notre tâche et nous ont permis de surmonter les difficultés rencontrées : présidents et membres de notre Conseil d'administration et de notre Comité technique, collaborateurs techniques, enfin lecteurs et annonceurs dont le nombre toujours croissant est du meilleur augure pour le développement de l'œuvre entreprise par nos fondateurs.

La démobilisation, qu'il faut espérer rapide, ne peut d'ailleurs manquer de contribuer à ce développement en nous apportant des concours précieux. D'abord, celui de notre rédacteur en chef, M. A. Soulier, qui ne tardera pas à prendre effectivement possession de ses fonctions; ensuite celui de M. Bertin, ingénieur diplômé de l'École supérieure d'Électricité, notre nouveau chef du Service de la publicité, en remplacement de M. Nouet, lequel vient de nous quitter; enfin, le concours de nombreux ingénieurs qui nous ont promis leur active collaboration dès qu'ils pourront reprendre leurs études techniques.

Au cours de l'année, notre Conseil d'Administration a perdu l'un de ses membres : le capitaine A. Gauthier-Villars, mort à son poste de commandement, le 14 juillet. Nous avons rappelé ici ce que fut sa vie et la part qui lui revient dans la fondation de cette Revue.

L'année 1918 a été plus clémente que la précédente pour notre Comité de rédaction. Nous n'avons pas à déplorer de décès parmi ses membres. Nous avons, au contraire, à rappeler deux heureux événements : la libération de deux membres de ce Comité, M. Aimé Witz,

Digitized by Google

correspondant de l'Institut, doyen de la Faculté libre des Sciences de Lille, et M. R. Swyngedauw, directeur de l'Institut électrotechnique de Lille, qui ont passé ces quatre dernières années à Lille; d'autre part, la récente élection à l'Académie des Sciences, comme membre de la section des « Applications de la Science à l'Industrie », de l'un des vice-présidents de ce Comité, M. Maurice Leblanc. Aux deux premiers, dont l'un vient de manifester son retour par une étude que nous publions dans ce numéro, nous souhaitons la bienvenue; au troisième nous renouvelons les félicitations que nous lui adressions dans une notice publiée récemment dans ces colonnes.

L'activité technique de la « R. G. E. » s'est maintenue au cours de l'année au niveau qu'elle avait atteint en 1917. Il y a eu cependant un léger fléchissement dans le nombre des pages publiées durant le premier semestre, mais ce fléchissement n'est nullement imputable à un ralentissement dans l'activité de nos collaborateurs : il est dû aux difficultés matérielles de fabrication survenues pendant la fin de ce semestre. D'ailleurs, avec ses 1992 pages de texte principal, ses 416 pages de « Documentation », ses 140 pages de l' « Union des Syndicats » et ses 52 pages du « Bulletin R. G. E. », l'ensemble de la publication se place au premier rang des publications similaires.

A ce propos, il nous paraît utile, si nous en jugeons par les demandes qui nous sont parfois adressées, de rappeler ce que nous avons déjà dit au sujet de la reliure de la « R. G. E. » : reliure en deux tomes semestriels du texte principal, reliure en un tome des fascicules de « Documentation » d'une année entière; enfin, reliure en un volume des fascicules de l' « Union des Syndicats de l'Électricité » de deux années. Quant aux fascicules du « Bulletin R. G. E. », ils peuvent ou bien être annexés au tome correspondant du texte principal, ou bien être conservés jusqu'à ce que leur ensemble constitue un nombre suffisant de feuilles pour former un volume d'épaisseur raisonnable.

Les tables des matières des trois premiers tomes ont été publiées au cours de l'année et encartées dans les numéros de la « Revue ». La table du tome IV du texte principal et celle du « Bulletin R. G. E. » ne tarderont pas à paraître, pourvu que la pénurie de main-d'œuvre dont nous souffrons encore ne suscite quelques difficultés.

La création du « Bulletin R. G. E. », qui paraît depuis juillet, a été décidée par notre Conseil sur la demande de divers lecteurs, en vue d'y rassembler les informations concernant les appareils et machines de fabrication nouvelle, les installations projetées ou en voie d'exécution ou récemment réalisées, les modifications apportées aux statuts des sociétés d'électricité ou à la composition de leurs conseils d'administration, les changements survenus dans les fonctions des ingénieurs, etc. La renaissance de l'activité industrielle ne peut manquer de nous amener à développer ce « Bulletin ». Mais, pour cela, il nous faut la collaboration effective de tous nos lecteurs. C'est à eux, en effet, de nous renseigner sur les faits dont ils ont connaissance et qu'il convient de publier. Nous faisons donc instamment appel à cette collaboration.

Enfin, pour terminer le bilan de l'année 1918, signalons la création dans nos bureaux de deux services réclamés par un certain nombre de nos abonnés : le « Service de la Librairie » qui se charge de leur procurer tous les ouvrages de librairie, les périodiques à quelque genre qu'il appartiennent, et le « Service des Éditions et Impressions » qui exécute tous travaux d'impression de circulaires, prospectus, notices, catalogues, rapports d'assemblées générales, etc., dont ils peuvent avoir besoin.

J. B.

Conférences de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. — Une série de cinq conférences sur l'organisation du travail sera donnée dans l'hôtel de la Société, 44, rue de Rennes, le samedi à 17 heures, durant les mois de janvier, février et mars. Voici les titres des sujets traités ainsi que les noms des conférenciers :

Samedi 11 janvier. — Application des principes de l'organisation scientifique à l'atelier central du Service militaire automobile, par le capitaine Compagnon, commandant ledit atelier.

Samedi 25 janvier. — Résultats obtenus par l'application des nouvelles méthodes de travail dans un chantier de 3 000 ouvriers, par Léonce Lavallée, ingénieur aux Chantiers de Penhoët.

Samedi 8 février. — Essai d'application du système Taylor dans un grand établissement d'État, par Nusbaumer, ingénieur à la Poudrerie nationale du Ripault.

Samedi 22 février. — Pratique de la réorganisation administrative des entreprises industrielles, par Paul Lecler, conseil administratif de la Société Commentry, Fourchambault et Decazeville.

Samedi 8 mars. — Essai d'organisation méthodique dans une usine métallurgique, par G. Charpy, directeur des Établissements de la Compagnie de Châtillon, Commentry et Neuves-Maisons.

Bibliographie : L'économie du charbon dans les chaudières, par Émile Serrière, ingénieur principal du génie maritime en retraite, ancien élève de l'École technique supérieure de la Marine (1). L'auteur a été chargé pendant longtemps de la conduite et des essais de recette de chaudières installées à terre ou à bord des navires : c'est donc un spécialiste de la question qu'il traite dans cet ouvrage qui s'adresse spécialement au personnel des chaufferies.

Utiliser au mieux le charbon que l'on possède constitue, dans les circonstances présentes, un devoir impérieux. Les explications détaillées contenues dans l'ouvrage faciliteront grandement cette tâche aux chauffeurs. Les industriels retireront également un profit appréciable de la lecture de ce petit livre : il est d'ailleurs de leur intérêt de le répandre parmi leur personnel.

(1) Un vol., format 21 cm. × 14 cm., 105 pages, édité par H. Dunod et E. Pinat. Prix, majoration comprise, 4,20 fr.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Emploi des moteurs synchrones pour améliorer le facteur de puissance

ÉTUDE DE LA FORMULE GÉNÉRALE

Dans un précédent article, publié dans le numéro du 23 novembre 1918, l'auteur se trouvait amené à une équation reliant les angles de déphasage avant et après l'introduction d'un moteur synchrone avec le courant circulant primitivement dans ce réseau et le courant fourni par le moteur, équation dont il faisait une étude graphique sommaire, se réservant d'en donner plus tard une étude plus approfondie; c'est cette étude qui est présentée dans l'article ci-dessous. L'auteur y cherche successivement les intersections de la surface correspondant à l'équation par des plans parallèles à chacun des plans de coordonnées; il arrive ainsi à avoir une représentation de la forme de la surface permettant de résoudre certains problèmes, non envisagés dans le premier article, parce qu'ils ne répondent pas aux conditions de fonctionnement actuelles des réseaux, mais qui peuvent néanmoins présenter dans l'avenir un intérêt pratique.

J'ai montré dans une étude précédente (1) que si l'on appelle :

R le courant dans un réseau *avant* l'introduction du courant en quadrature;

φ_1 le déphasage correspondant;

S le courant en quadrature introduit par le moteur synchrone;

φ_2 l'angle de déphasage *après* l'introduction du moteur synchrone;

ces quatre quantités sont liées par la relation

$$\frac{S}{R} = \sin\varphi_1 - \cos\varphi_1 \operatorname{tg}\varphi_2. \qquad (4)$$

J'ai étudié une transformation numérique permettant de construire les courbes de la figure 4 (reproduite ici en figure 2), lesquelles représentent non pas $f\left(\frac{S}{R}, \varphi_1, \varphi_2\right)$, mais $f_1\left(\frac{S}{R}, \cos\varphi_1, \cos\varphi_2\right)$.

Nous allons étudier la surface

$$y = \pm\sqrt{1 - z^2} - xz, \qquad (5)$$

en posant $\frac{S}{R} = y$, $z = \cos\varphi_1$, $x = \operatorname{tg}\varphi_2$.

Pour étudier cette surface, nous la couperons successivement par trois familles de plans, chaque famille étant respectivement parallèle à l'un des plans de coordonnées, et nous examinerons sous quelle forme ces sections successives reproduisent les particularités ou les points remarquables des courbes de la figure 4.

Cette méthode va nous permettre de suivre les variations de la formule générale (4), car la considération de $S < 0$ correspond à l'introduction d'une réactance dans le circuit. Nous pouvons également combiner entre eux les signes de φ_1 et de φ_2, tout en remarquant que, dans les circuits industriels tels que nous sommes accoutumés de les considérer, φ_1 et φ_2 peuvent être positifs ou négatifs, c'est-à-dire en avant ou en arrière de la tension, mais compris entre $-\frac{\pi}{2}$ et $+\frac{\pi}{2}$, et que, par conséquent, $x = \operatorname{tg}\varphi_2$ pourra bien varier de $-\infty$ à $+\infty$, mais que $\cos\varphi$ doit rester compris entre 0 et 1 pendant que $\sin\varphi_1$ varie de $+1$ à -1.

I. — Intersection de la surface avec les plans $z = C^{te}$. — 1. NATURE DE L'INTERSECTION (PLAN DES xy). — Nous avons vu dans l'étude précédente que ces intersections sont des droites:

$$y = \sin\varphi_1 - x\cos\varphi_1, \qquad (6)$$

Ces droites (fig. 2 de l'étude précédente reproduite ici en figure 1) ont:

1° Pour coefficient angulaire, $-\cos\varphi_1$;

2° Pour ordonnée à l'origine, $\pm\sin\varphi_1$;

3° Pour abscisse à l'origine, $\pm\operatorname{tg}\varphi_1$.

La bissectrice $y = -x$ de l'angle des axes oy, ox' divise le plan en deux régions :

1° A sa droite (ou au-dessus d'elle), les droites ayant pour équation $y = \sin\varphi_1 - x\cos\varphi_1$;

2° A sa gauche (ou au-dessous d'elle), les droites ayant pour équation $y = -\sin\varphi_1 - x\cos\varphi_1$.

(1) RIEUNIER (P). Note sur l'emploi des moteurs synchrones pour améliorer le facteur de puissance; *R. G. E.*, 23 novembre 1918, t. IV p. 771-788.

Digitized by Google

Pour considérer toute la surface, il faut examiner aussi sa section par les plans $z = -\cos\varphi_1 = C^{te}$.

Nous aurons encore des droites ayant pour équation

$$y = \pm \sin\varphi_1 + x\cos\varphi_1,$$

c'est-à-dire ayant :

1° Pour coefficient angulaire, $+\cos\varphi_1$;

2° Pour ordonnée à l'origine, $\pm \sin\varphi_1$;

3° Pour abscisse à l'origine, $\pm \operatorname{tg}\varphi_1$.

Ainsi que nous l'avons vu, ces droites ne correspondent pas aux circuits industriels actuels tels que nous les utilisons.

Elles se confondent avec les droites que j'avais précédemment définies par l'équation

$$\frac{S}{A} = \cos\varphi_2 \operatorname{tg}\varphi_1 - \sin\varphi_2. \qquad (3)$$

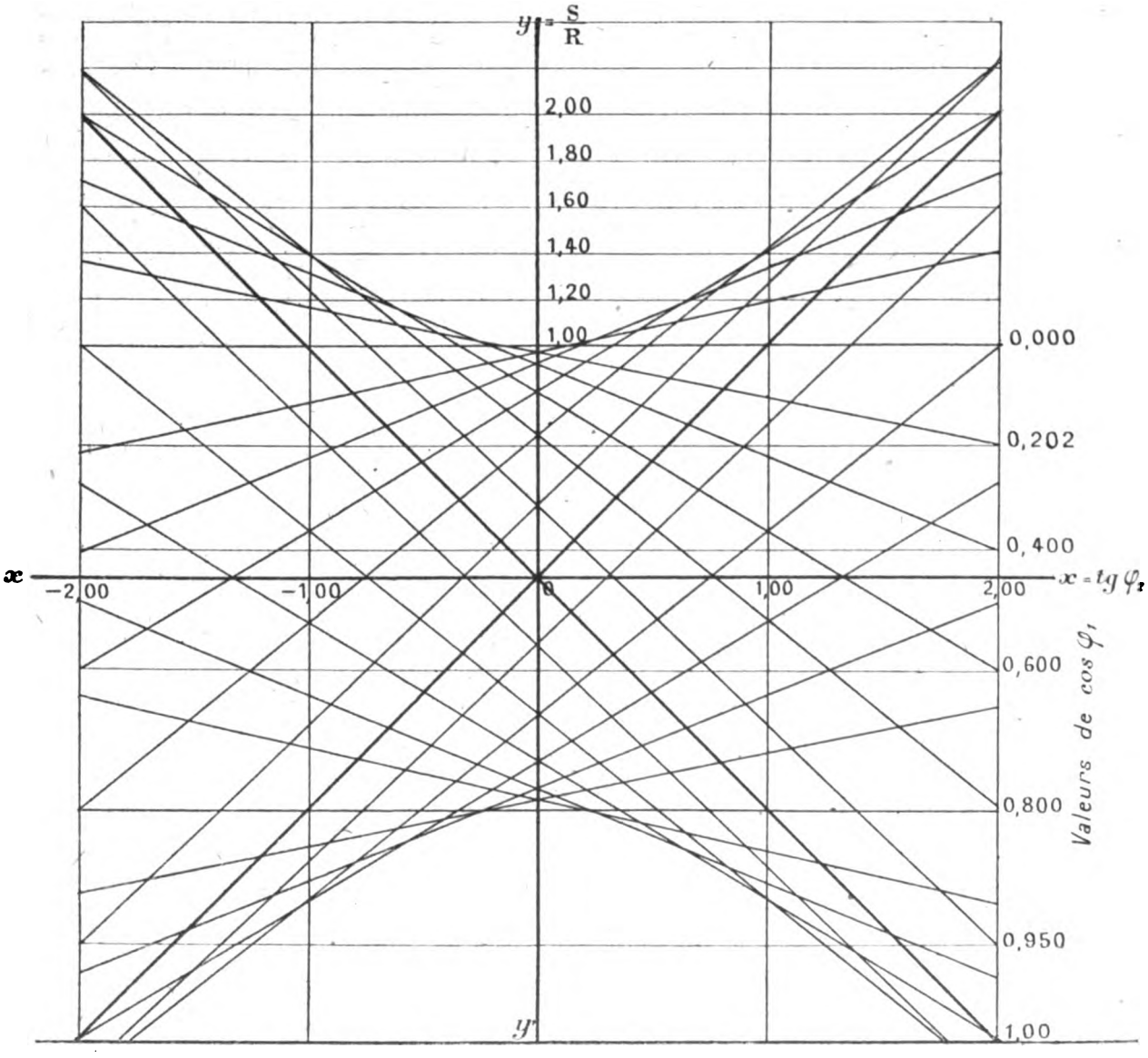


Fig. 1. — Reproduction de la figure 3 du précédent article.

Ces droites n'ont pas été représentées sur la figure 3 afin de ne pas charger le dessin.

Ces deux familles de droites ont, comme nous l'avons vu, pour enveloppe une hyperbole equilatère ayant pour équation

$$y^2 - x^2 - 1 = 0,$$

c'est-à-dire ayant pour axes les axes de coordonnées et leurs bissectrices pour asymptotes.

2. Étude électrique des droites précédentes. — Ces droites présentent toutes les propriétés étudiées antérieurement sur les figures 3 et 4 de l'article précédent (fig. 1 et 2 de celui-ci).

Digitized by Google

Je les résume ci-après :

1° Les points $\cos\varphi_1 = 1$ se trouvent tous sur la bissectrice du second angle des axes oy, ox' ayant pour équation $z = -x$, c'est-à-dire $\cos\varphi_1 = -\operatorname{tg}\varphi_2$;

2° Les points $\cos\varphi_2 = 1$ sont tels que $\operatorname{tg}\varphi_2 = x = 0$. On a bien, en effet, pour cette valeur de x une ordonnée à l'origine telle que

$$y = \frac{S}{R} = \sin\varphi_1,$$

propriété déjà vue lors de l'étude des figures 1 et 2 ci-dessus.

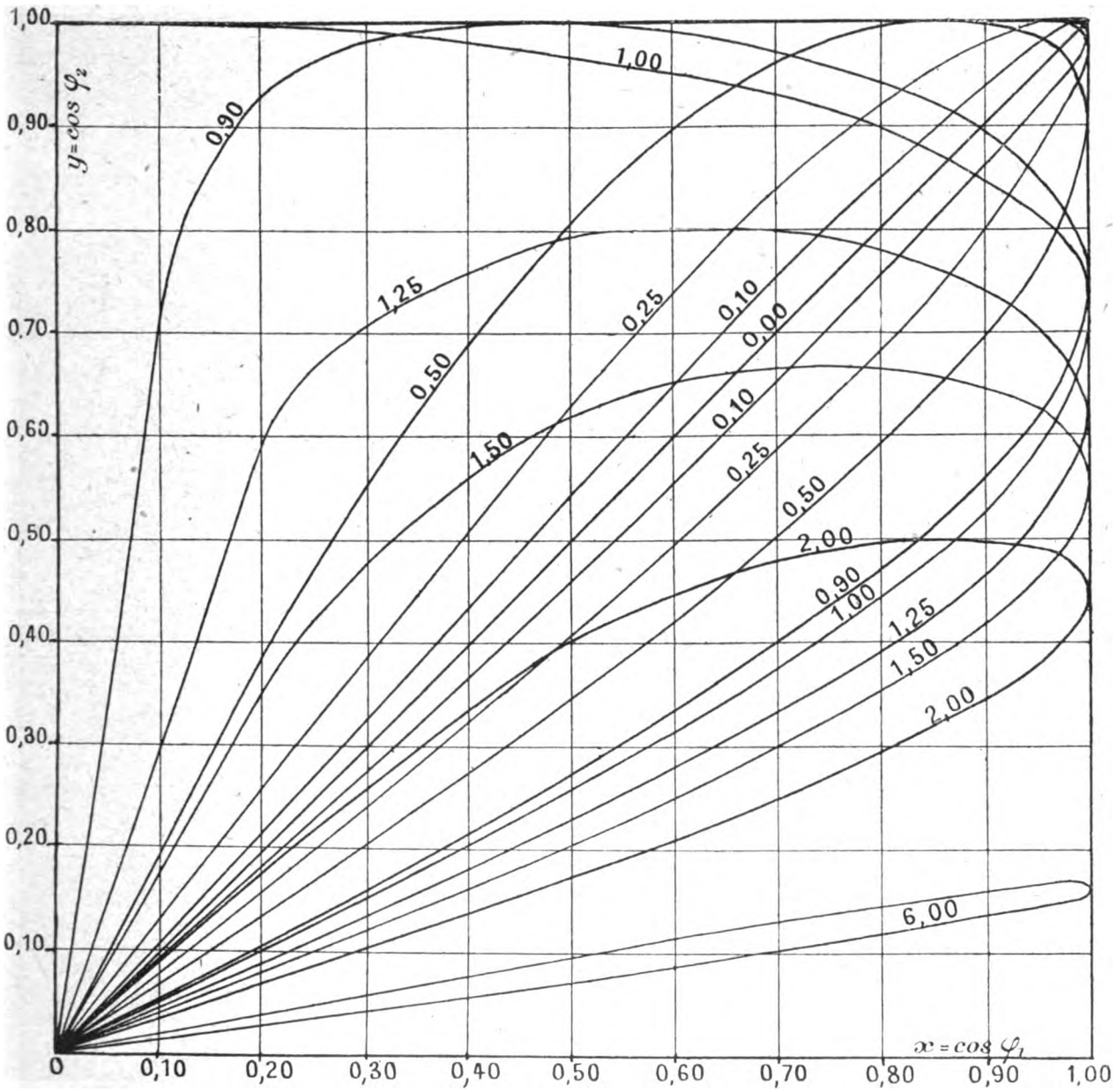


Fig. 2. — Reproduction de la figure 4 du précédent article.

3° Pour les valeurs de $\frac{S}{R} = y > 1$, nous avons vu que $\cos\varphi_2$ passe par un maximum ou $\operatorname{tg}\varphi_1$ par un minimum. C'est même en nous servant de cette remarque que nous avons calculé la valeur de ce maximum, pour lequel $\sin\varphi_1 = \frac{R}{g}$.

Si, en effet, sur la figure 3 nous prenons un point quelconque ayant pour coordonnées $x = 0$, $y < 1$, deux droites se croisent en ce point, ayant pour équations respectives :

l'une

$$y = + \sin\varphi_1 - x\cos\varphi_1$$

Digitized by Google

l'autre

$$y = + \sin \varphi_1 + x \cos \varphi_1,$$

et pour ces deux droites

$$x = \operatorname{tg} \varphi_2 = 0.$$

Si, au contraire, on prend un point quelconque ayant pour coordonnées $x = 0$, $y > 1$, il faudra, pour rencontrer une droite « isocosinus », mener la parallèle à $o x$ jusqu'à son point d'intersection avec le faisceau des droites $\cos \varphi_1 = C^{te}$.

La première droite rencontrée détermine le minimum de $x = \operatorname{tg} \varphi_2$.

4° Lieu des points pour lesquels $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2$ avec $\sin \varphi_1 = - \sin \varphi_2$.

Sur la figure 2 représentant $f(\cos \varphi_1, \cos \varphi_2)$, ce lieu est la bissectrice des axes, $y = x$.

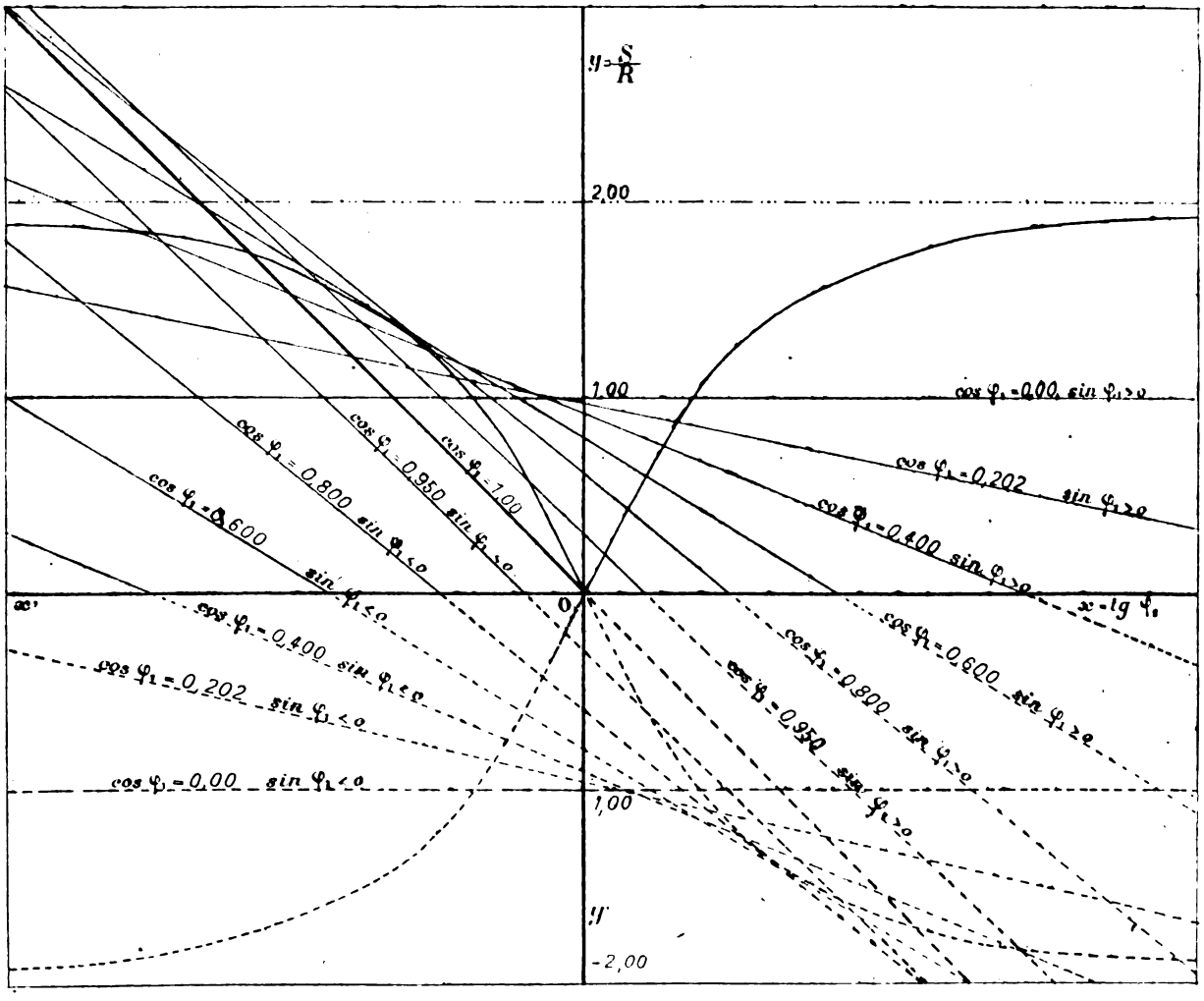


Fig. 3.

Nous avons vu que, sur cette bissectrice,

$$\sin \varphi_1 = \frac{1}{2} \frac{S}{R} = - \sin \varphi_2,$$

or,

$$\sin \varphi_2 = \pm \frac{\operatorname{tg} \varphi_2}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_2}}, \qquad (7)$$

et sur la figure 3 on a

$$x = \operatorname{tg} \varphi_2, \quad y = \frac{S}{R}.$$

Nous obtenons donc immédiatement, en substituant ces valeurs dans (7),

$$- \frac{y}{2} = \pm \frac{x}{\sqrt{1 + x^2}},$$

ou en élevant au carré

$$y^2 (1 + x^2) = 4 x^2,$$

$$x^2 (4 - y^2) = y^2. \qquad (8)$$

Il faut avoir $y = \frac{S}{R} \leq 2$, proposition déjà éta-

Digitized by Google

blie (fig. 2) et nécessaire puisque $\frac{S}{2R}$ représente ici un sinus.

Le lieu géométrique (8) ne rencontre pas les droites $y = \frac{S}{R} > 2$.

Cette courbe se compose de quatre branches infinies ; elle admet :

1° Pour centre, l'origine des coordonnées ;

2° Pour axes de symétrie, les deux axes de coordonnées ;

3° Pour asymptotes, les deux droites $y = \pm 2$;

4° L'origine pour point d'inflexion ;

5° Pour tangentes à l'origine, les deux droites

$$y = \pm 2x ;$$

6° Pour tangente en un point de coordonnées x, y, la droite dont l'équation est

$$X(xy^2 - 4x) + Y(x^2y + y) - 4x^2 + y^2 = 0.$$

Ce sont ces calculs qui ont servi à tracer la courbe de la figure 1.

Cette courbe coupe quatre fois les droites $\cos\varphi_1 = C^{te}$.

De ces quatre points, un seul convient, c'est celui situé dans l'angle xoy', pour lequel $\cos\varphi_1 > 0$, $\sin\varphi_1 > 0$, $\operatorname{tg}\varphi_2 < 0$ et $\frac{S}{R} > 0$.

Sur la figure 2, les courbes en $\cos\varphi_1$ et $\cos\varphi_2$ coupent la bissectrice des axes en un point dont nous venons de trouver l'analogue, et elles ont en outre un point double à l'origine où elles rencontrent la bissectrice des axes ; en ce point $\cos\varphi_1 = \cos\varphi_2 = 0$.

La droite de niveau $\cos\varphi_1 = 0$ n'est autre que la parallèle à ox ayant pour équation $y = \pm 1$.

(Il suffit de faire, dans l'équation (5), $z = 0$.)

Cette parallèle à ox rencontre à l'infini l'axe ox, et le point à l'infini sur ox a pour coordonnées $y = 0$, $x = \operatorname{tg}\varphi_2 = \pm\infty$, ce qui correspond bien à $\cos\varphi_2 = 0$.

3. Région a considérer sur la figure 3. — Nous admettons que nous n'avons à considérer que des circuits électriques ordinaires dans lesquels φ_1 et φ_2 sont compris entre $-\frac{\pi}{2}$ et $+\frac{\pi}{2}$, et que des moteurs synchrones avec $\frac{S}{R} > 0$.

Pour tous ces angles, nous avons $\cos\varphi_1$ compris entre 0 et + 1, et $\sin\varphi_1$ compris entre — 1 et + 1.

Nous devons donc considérer les droites ayant pour équation

$$y = \pm\sin\varphi_1 - x\cos\varphi_1,$$

droites dont la partie utile est représentée en traits pleins sur la figure 3.

Est également représentée en traits pleins la partie supérieure de la courbe lieu des points tels que $\sin\varphi_1 = -\sin\varphi_2$.

Pour tout point situé au-dessus de ox, on a $y = \frac{S}{R} > 0$ et les quantités lues sur les courbes correspondent à l'emploi d'un moteur synchrone surexcité fournissant un courant en quadrature en avant.

Pour tout point situé en dessous de ox tel que $y = \frac{S}{R} < 0$, les nombres lus correspondent à l'emploi d'une réactance avec absorption de courant en quadrature en arrière.

II. — **Intersection de la surface avec les plans** $y = C^{te}$. — 1. Nature de l'intersection (plan des xz). — Si dans l'équation (5) on fait

$$y = \frac{S}{R} = C^{te},$$

on a

$$\frac{S}{R} = \pm\sqrt{1 - z^2} - xz,$$

avec toujours

$$z = \cos\varphi_1 \quad \text{et} \quad x = \operatorname{tg}\varphi_2.$$

En élevant au carré après avoir isolé le radical dans un seul membre et fait toutes simplifications, l'équation devient

$$x^2z^2 + 2\frac{S}{R}xz + z^2 + \frac{S^2}{R^2} - 1 = 0. \qquad (9)$$

Pour tout $\frac{S}{R}$ constant, une pareille courbe aura les propriétés suivantes :

1° Elle admet pour centre de symétrie l'origine des coordonnées ;

2° Elle est tangente aux horizontales $z = \pm 1$;

3° Elle a l'axe des x pour asymptote ;

4° L'équation générale de la tangente au point (x, z) est

$$X\left(xz^2 + \frac{S}{R}z\right) + Z\left(x^2z + \frac{S}{R}x + z\right) + \\ + 2\frac{S}{R}x + z^2 + 2\frac{S^2}{R^2} - 2 = 0,$$

dont le coefficient angulaire est

$$-\frac{xz^2 + \frac{S}{R}z}{x^2z + \frac{S}{R}x + z}.$$

Ce coefficient angulaire s'annule pour $z = 0$ (nous avons vu que ox est asymptote), et s'annule aussi pour

$$x = -\frac{S}{R}\frac{1}{z},$$

Digitized by Google

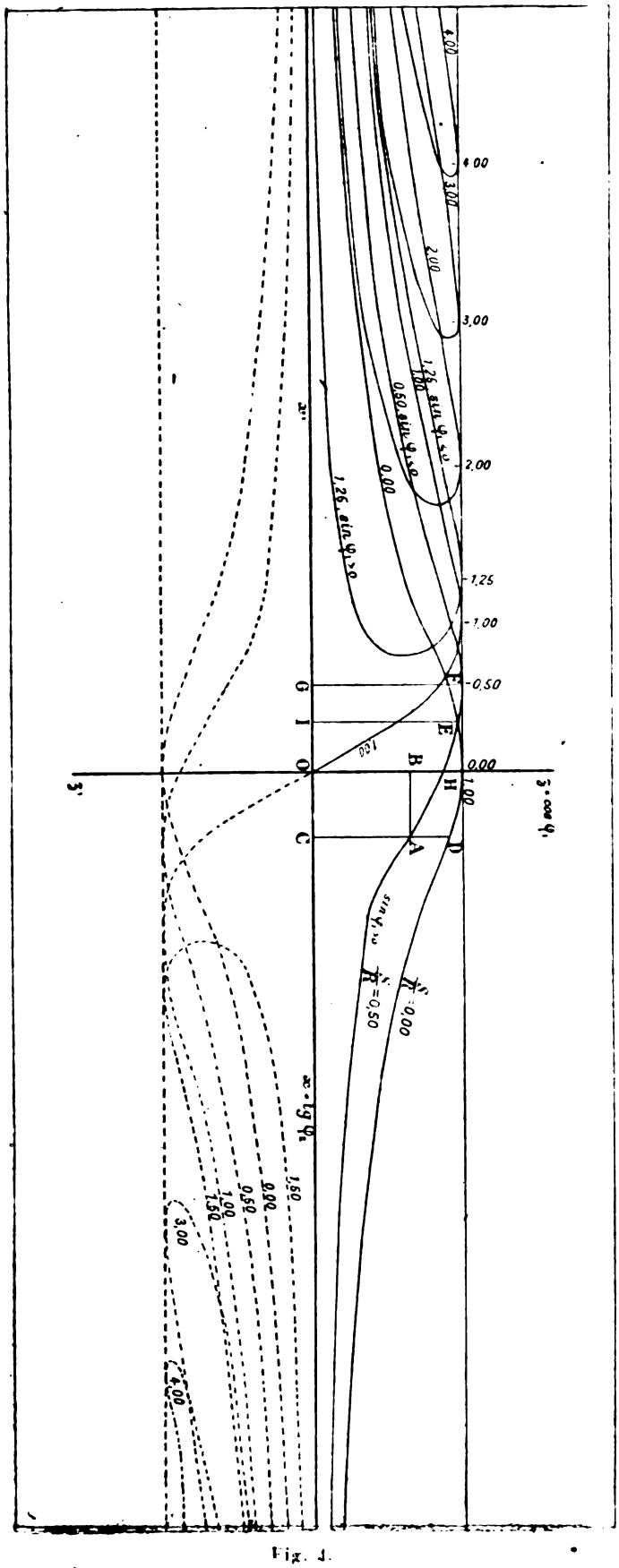


Fig. 4.

valeur qui, portée dans l'équation (9), donne $z = \pm 1$ et, par conséquent, $x = -\frac{S}{R}$.

Ce même coefficient angulaire devient infini quand

$$x^2 z + \frac{S}{R} x + z = 0,$$

d'où

$$z = -\frac{\frac{S}{R} x}{x^2 + 1}.$$

En substituant dans l'équation de la courbe, on obtient, tous calculs faits,

$$x = \pm \sqrt{\frac{S^2}{R^2} - 1},$$

ce qui montre que l'on ne peut avoir de tangente parallèle à oz qu'autant que $\frac{S}{R} > 1$.

5° En outre, les propriétés de ces courbes sont très différentes suivant que $\frac{S}{R}$ est inférieur, égal ou supérieur à 1.

C'est ici un résultat algébrique, mais qu'il était facile de prévoir si on veut bien se reporter à l'étude précédente et à l'analyse des courbes de la figure 1.

La courbe de la figure 2 n'est, en effet, qu'une transformation *numérique* de la précédente dans laquelle $\operatorname{tg} \varphi_2$ est remplacée par $\cos \varphi_2$.

Nous allons suivre ces analogies pas à pas.

2. Etude des courbes figure 4 pour $\frac{S}{R} = 0$, c'est-a-dire $S = 0$. — Pour $S = 0$, l'équation générale (9) des courbes devient

$$x^2 z^2 + z^2 - 1 = 0, \qquad (10)$$

qui représente deux branches de courbe, chacune en « chapeau de gendarme » ; la courbe a une tangente horizontale aux points

$$x = 0, \qquad z = \pm 1,$$

et elle est asymptote à l'axe des x.

Les axes de coordonnées sont axes de symétrie ; l'origine est centre comme sur toutes les courbes de cette famille.

Cette courbe $\frac{S}{R} = 0$ joue ici le même rôle que sur la figure 2 la bissectrice des axes, laquelle avait pour équation

$$\cos \varphi_2 = \cos \varphi_1 \quad \text{avec} \quad \sin \varphi_2 = -\sin \varphi_1.$$

Digitized by Google

Cette bissectrice est d'ailleurs aussi ligne de niveau pour $\frac{S}{R} = 0$.

Tout ceci est évident électriquement : si, en effet, $S = 0$, on a $\cos\varphi_1 = \cos\varphi_2$; ceci revient à ne pas introduire de moteur synchrone. Si, au contraire, on en introduit un, on ne peut avoir $\cos\varphi_1 = \cos\varphi_2$ que si

$$\sin\varphi_1 = -\sin\varphi_2, \quad \text{d'où} \quad \varphi_2 = -\varphi_1.$$

En d'autres termes, si la courbe de niveau $\frac{S}{R} = 0$ coupe une autre courbe $\frac{S}{R} \gtrless 0$, le point d'intersection donne

$$\cos\varphi_1 = \cos\varphi_2 \quad \text{avec} \quad \varphi_2 = -\varphi_1,$$

c'est-à-dire que ce point d'intersection joue le même rôle que les points d'intersection marqués sur la figure 2 de la bissectrice des axes avec chacune des lignes de niveau $\frac{S}{R}$, points que nous avons calculés et construits.

Si, d'ailleurs, on en veut une vérification algébrique, il suffit, ayant $z = \cos\varphi_1$, $x = \operatorname{tg}\varphi_2$, d'écrire que $\sin\varphi_1 = -\sin\varphi_2$, ou

$$\pm\sqrt{1 - z^2} = \mp\frac{x}{\sqrt{1 + x^2}},$$

ce qui donne

$$1 - z^2 = \frac{x^2}{1 + x^2},$$

ou

$$x^2z^2 + z^2 - 1 = 0.$$

Cette équation n'est autre que l'équation (10).

3. Étude des courbes figure 4 pour $\frac{S}{R}$ compris entre 0 et 1. — Ces courbes ont une forme analogue à la forme de la courbe précédente; elles admettent l'origine comme centre, mais les axes de coordonnées ne sont plus axes de symétrie.

Sur la branche située au-dessus de ox ($z > 0$), le point de contact de la tangente horizontale $z = +1$ glisse vers la gauche ($\operatorname{tg}\varphi_2 < 0$) à mesure que $\frac{S}{R}$ augmente.

Sur la branche inférieure, le point de contact avec $z = -1$, au contraire, glisse vers la droite à mesure que l'on considère des courbes de niveau pour lesquelles $\frac{S}{R}$ est de plus en plus grand. L'origine demeure centre.

Sur la branche située au-dessus de ox, la seule qui nous intéresse pour $\frac{S}{R} > 0$, la partie à droite du point de contact correspond à $\sin\varphi_1 > 0$, et la partie à gauche de ce point correspond à $\sin\varphi_1 < 0$.

A défaut du calcul algébrique, un simple raisonnement électrique suffirait à nous le montrer : $\frac{S}{R}$ demeurant constant, si φ_1 est en avant et augmente, c'est-à-dire si $\cos\varphi_1$ diminue, φ_2 sera en avant et augmentera aussi en valeur absolue, c'est-à-dire que $x = \operatorname{tg}\varphi_2$ s'éloignera vers l'∞ négatif.

Le coefficient angulaire de la tangente au point x, z a toujours pour valeur

$$-\frac{xz^2 + \frac{S}{R}z}{x^2z + \frac{S}{R}x + z}.$$

Il s'annule pour

$$xz^2 + \frac{S}{R}z = 0,$$

c'est-à-dire, soit

1° $\qquad z = 0 \quad \text{et} \quad x = \pm\infty,$

soit

2° $\qquad xz + \frac{S}{R} = 0, \quad \text{d'où} \quad x = -\frac{S}{R}\frac{1}{z},$

Si on porte cette valeur de x dans l'équation (9), on trouve

$$x = \frac{-\frac{S}{R} \pm \sqrt{1 - z^2}}{z},$$

et comme on a

$$x = -\frac{S}{R} \times \frac{1}{z},$$

il en résulte que

$$z = \pm 1.$$

La courbe a donc une tangente horizontale aux points

$$z = +1, \quad x = -\frac{S}{R},$$

et

$$z = -1, \quad x = +\frac{S}{R}.$$

Le coefficient angulaire de la tangente verticale est donné par

$$x^2z + \frac{S}{R}x + z = 0,$$

d'où

$$z = -\frac{\frac{S}{R}x}{x^2 + 1},$$

valeur qui, portée dans l'équation (9), donne, tous calculs faits,

$$x = \pm\sqrt{\frac{S^2}{R^2} - 1}, \qquad z = \mp\frac{R}{S}\sqrt{\frac{S^2}{R^2} - 1}.$$

Digitized by Google

Il faudrait donc avoir $\frac{S}{R} > 1$, ce qui est contraire à notre hypothèse.

La courbe n'admet donc pas de tangente parallèle à Oz, c'est-à-dire que tg φ_2 croît constamment de $-\infty$ à $+\infty$.

Les différentes propriétés des courbes étudiées sur la figure 2 se retrouvent ici :

1° Sur la figure 2, les courbes de niveau $\frac{S}{R} < 1$ rencontraient la bissectrice des axes :

a) A l'origine pour $\cos\varphi_1 = \cos\varphi_2 = 0$.

Ce point est à l'infini sur la figure 4 puisqu'il est représenté par les coordonnées

$$z = \cos\varphi_1 = 0, \qquad \operatorname{tg}\varphi_2 = \pm\infty;$$

b) Au point pour lequel $\sin\varphi_1 = \frac{1}{2}\frac{S}{R}$.

C'est le point situé dans les limites de l'épure à gauche de oz (tg $\varphi_2 < 0$) et où se coupent les deux courbes de niveau ayant pour désignations respectives $\frac{S}{R} = 0$ et $\frac{S}{R} =$ valeur considérée, par exemple $\frac{S}{R} = 0{,}50$.

2° Sur la figure 2, l'augmentation du facteur de puissance ($\cos\varphi_2 - \cos\varphi_1$) pour une même abscisse est égale à *la différence entre l'ordonnée de la courbe* $\frac{S}{R}$ *considérée et l'ordonnée de la bissectrice des axes* $\frac{S}{R} = 0$, *cette différence étant prise avec son signe algébrique.*

Sur la figure 4, l'augmentation du facteur de puissance est égale pour une même abscisse *à la différence algébrique entre l'ordonnée de la courbe* $\frac{S}{R} = 0$ *et l'ordonnée de la courbe* $\frac{S}{R}$ *considérée.*

Pour fixer les idées, considérons, sur la figure 4, la courbe $\frac{S}{R} = 0{,}50$.

Soit un point quelconque A sur cette courbe ; pour ce point, on a

$$\mathrm{OB} = \cos\varphi_1, \quad \text{et} \quad \mathrm{OC} = \operatorname{tg}\varphi_2.$$

Si on prolonge la parallèle CA à oz, elle coupe en D la courbe $\frac{S}{R} = 0$, on a donc

$$\mathrm{CD} = \cos\varphi_2.$$

Il en résulte que

$$\cos\varphi_2 - \cos\varphi_1 = \mathrm{CD} - \mathrm{CA} = \mathrm{AD}.$$

3° Au point H, intersection de la courbe avec l'axe des z, on a $\cos\varphi_2 = 1$; H correspond au point de contact des courbes de la figure 2 avec l'horizontale $\cos\varphi_2 = 1$.

4° Le point F, point de contact avec $z = \cos\varphi_1 = 1$, correspond, sur la figure 2, au point de contact avec la verticale $\cos\varphi_1 = 1$.

5° Comme sur la figure 2, on a sur la courbe $\frac{S}{R} = 0{,}50$,

x variant de $+\infty$ à 0, $\varphi_1 > 0$, $\varphi_2 > 0$,

x variant de 0 à $-$ OG, $\varphi_1 > 0$, $\varphi_2 < 0$,

x variant de OG à $-\infty$, $\varphi_1 < 0$, $\varphi_2 < 0$.

6° L'augmentation du facteur de puissance est positive quand x décroît de $+\infty$ à $-$ OI.

Elle s'annule en E pour l'abscisse $-$ OI et reste ensuite négative quand x décroît de $-$ OI à $-\infty$.

Les mêmes conclusions s'appliquent à n'importe quelle autre courbe de $\frac{S}{R} < 1$, en remplaçant E, F, G, I, par les points correspondants.

4. Etude de la courbe pour $\frac{S}{R} = 1$. — Pour $\frac{S}{R} = 1$, l'équation de la courbe est

$$x^2z^2 + 2xz + z^2 = 0,$$

La courbe a encore deux branches ; chaque branche admet l'origine pour centre et les axes de coordonnées pour axes de symétrie.

Ces deux branches sont :

1° $z = 0$, axe des x,

2° $x^2z + 2x + z = 0$.

Cette deuxième courbe passe par l'origine, où elle présente un point d'inflexion et est tangente à la droite $z = -2x$.

Elle a une tangente horizontale au point

$$z = -1, \quad x = +1,$$

et une autre au point

$$z = +1, \quad x = -1.$$

Une tangente quelconque au point z, x a pour coordonnées courantes X, Z, tels que

$$X(2xz + 2) + Z(x^2 + 1) + 4x + 2z = 0.$$

Cette courbe reproduit toutes les particularités de la courbe $\frac{S}{R} = 1$ dans la figure 2.

En effet :

1° Pour $\cos\varphi_1 = 0$, tg φ_2 est indéterminé, puisque l'axe des x fait partie de la courbe ;

2° Du moment que $\frac{S}{R} > 0$ et $\cos\varphi_1 = z > 0$, on a constamment tg $\varphi_2 < 0$, correspondant à un déphasage résultant en avant ;

3° On a tg $\varphi_2 = 1$, c'est-à-dire $\cos\varphi_2 = 0{,}707$ pour $\cos\varphi_1 = 1$;

Digitized by Google

4° A partir du point $\cos\varphi_1 = 1$ et $\operatorname{tg}\varphi_2 = 1$, on doit avoir $\varphi_1 < 0$;

5° Sur la figure 2, la courbe passe à l'origine ; ici, la courbe étant asymptote à ox, la rejoint à l'infini, point pour lequel $\cos\varphi_1 = 0$ et $\cos\varphi_2 = 0$ ou $\operatorname{tg}\varphi_2 = x = -\infty$.

5. Etude de la courbe pour $\frac{S}{R} > 1$. — La courbe a toujours pour équation

$$x^2z^2 + 2\frac{S}{R}xz + z^2 + \frac{S^2}{R^2} - 1 = 0.$$

Elle se compose de deux branches, symétriques l'une de l'autre par rapport à l'origine.

Ces deux branches admettent :

1° Comme tangentes horizontales :

a) La droite $z = +1$ au point $x = -\frac{S}{R}$.

b) La droite $z = -1$ au point $x = +\frac{S}{R}$.

2° Comme tangentes verticales (parallèles à oz) :

a) la droite

$$x = +\sqrt{\frac{S^2}{R^2} - 1} \text{ au point } z = -\sqrt{1 - \frac{R^2}{S^2}},$$

b) la droite

$$x = -\sqrt{\frac{S^2}{R^2} - 1} \text{ au point } z = +\sqrt{1 - \frac{R^2}{S^2}},$$

3° Comme asymptote, l'axe des x.

Ces courbes ont, en outre, les mêmes propriétés que celles de la figure 2 avec $\frac{S}{R} > 1$.

Elles sont situées tout entières dans la région où $\operatorname{tg}\varphi_2 < 0$ (du moins pour la branche correspondant à $\cos\varphi_1 > 0$).

Elles admettent une tangente verticale, révélant un minimum en valeur absolue de $\operatorname{tg}\varphi_2$; sur la figure 2, les courbes ont une tangente horizontale correspondant au maximum de $\cos\varphi_2$.

Sur la figure 4, la partie inférieure de la courbe comprise entre $-\infty$ et le point de contact avec $\cos\varphi_1 = 1$ (partie inférieure comprenant le point de contact avec la tangente verticale) correspond à $\sin\varphi_1 > 0$ et la partie comprise entre $z = 1$ et $-\infty$ correspond à $\sin\varphi_1 < 0$.

Comme sur la figure 2, nous allons voir que la courbe de niveau $\frac{S}{R} = 2$ ne coupe pas le lieu des points pour lesquels

$$\cos\varphi_1 = \cos\varphi_2 \quad \text{et} \quad \sin\varphi_1 = -\sin\varphi_2.$$

Ces courbes se coupent à l'infini, l'infini positif ou négatif correspondant ici à l'origine sur la figure 2.

Si on cherche les autres points d'intersection, on a

1° Pour $\frac{S}{R} = y = 0, \pm\sqrt{1 - z^2} = \mp\frac{x}{\sqrt{1 + x^2}}$.

2° Pour $\frac{S}{R} = y$, on a $y = \pm\sqrt{1 - z^2} - zx$. (5)

Eliminons z entre ces deux équations ; nous obtenons

$$z = \frac{y}{x} \pm \frac{1}{\sqrt{1 + x^2}},$$

et

$$yx^2 + y \pm 2x\sqrt{1 + x^2} = 0,$$

d'où

$$x^4(y^2 - 4) + x^2(2y^2 - 4) + y^2 = 0,$$

et, en posant

$$x^2 = K,$$

$$K^2(y^2 - 4) + K(2y^2 - 4) + y^2 = 0,$$

d'où

$$K = x^2 = \frac{-y^2 + 2 \pm 2}{y^2 - 4}.$$

Or il faut que K soit positif.

En prenant le signe + devant 2, on doit avoir

$$\frac{-y^2 + 4}{y^2 - 4} = \frac{2 - y}{y - 2} > 0,$$

ce qui est impossible.

En prenant le signe —, $\frac{-y^2}{y^2 - 4} > 0$,

ce qui oblige à avoir $y^2 - 4 < 0$ ou $y < 2$ puisque nous avons par hypothèse

$$y = \frac{S}{R} > 0.$$

Donc, les courbes de niveau $y = \frac{S}{R} < 2$ coupent la courbe $y = 0$, lieu des points $\cos\varphi_1 = \cos\varphi_2$ avec $\sin\varphi_1 = -\sin\varphi_2$.

Pour $y = \frac{S}{R} = 2$, on a $K = x^2 = \infty$, point de contact correspondant à l'origine des coordonnées sur la figure 2.

Et, pour $y = \frac{S}{R} > 2$, le point d'intersection est imaginaire.

Le point commun à l'origine est toujours représenté par le point à l'infini, toutes ces courbes ayant pour asymptote commune l'axe ox.

Digitized by Google

6. Région a considérer sur la figure 4. — J'ai figuré en traits pleins la région à considérer pour l'emploi d'un moteur synchrone dans un circuit électrique industriel, c'est-à-dire pour

$$y > 0, \qquad \left.\begin{array}{l}\sin\varphi_1 > \text{ou} < 0\\ \cos\varphi_1 > 0,\end{array}\right\} -\frac{\pi}{2} < \varphi_1 < +\frac{\pi}{2},$$

$$-\infty < \operatorname{tg}\varphi_2 < +\infty \quad \text{ou} \quad -\frac{\pi}{2} < \varphi_2 < +\frac{\pi}{2},$$

$\sin\varphi_1$, et par suite φ_1, reste positif tant que x est compris entre $x = -y$ (point de contact avec la tangente horizontale) et $+\infty$; quand x décroît au-dessous de $-y = -\frac{S}{R}$, $\sin\varphi_1$ est négatif, on a affaire à un déphasage initial en avant.

III. — **Intersection de la surface avec les plans $x = C^{te}$.** — 1. Nature de l'intersection (plan des yz). — Si dans l'équation

$$y = \pm\sqrt{1 - z^2} - xz, \qquad (5)$$

on fait

$$x = \operatorname{tg}\varphi_2 = C^{te},$$

on obtient l'équation (11):

$$y^2 + z^2(\operatorname{tg}^2\varphi_2 + 1) + 2\operatorname{tg}\varphi_2\, yz - 1 = 0, \qquad (11)$$

qui représente une famille d'ellipses ayant l'origine pour centre.

Ces ellipses sont toutes inscrites entre les deux droites

$$z = +1 \quad \text{et} \quad z = -1.$$

Elles passent toutes par les deux points

$$z = 0, \quad y = 1 \quad \text{et} \quad z = 0, \quad y = -1.$$

Pour $x = \operatorname{tg}\varphi_2 > 0$, le grand axe de l'ellipse est incliné dans l'angle yoz' des axes de coordonnées.

Pour $x = \operatorname{tg}\varphi_2 < 0$, le grand axe est incliné dans l'angle yoz.

Pour $x = 0$, l'ellipse devient un cercle.

Pour $x = \pm\infty$, on a $z = 0$, axe des y.

La déformation de l'ellipse est donc la suivante : pour $\operatorname{tg}\varphi_2 = -\infty$, l'ellipse se réduit à l'axe des y ; $\operatorname{tg}\varphi_2$ se rapprochant de 0, le grand axe de l'ellipse, d'abord confondu avec oy, s'incline peu à peu en tournant autour de o dans le sens des aiguilles d'une montre ; quand $x = 0$, le grand axe se confond avec oz et l'ellipse est un cercle ; $\operatorname{tg}\varphi_2$ continuant à croître jusqu'à $+\infty$, le grand axe continue son mouvement de rotation jusqu'à se confondre à nouveau avec oy pour $\operatorname{tg}\varphi_2 = +\infty$.

2. Etude de ces ellipses au point de vue géométrique. — Ces ellipses ont pour équation générale

$$y^2 + z^2(\operatorname{tg}^2\varphi_2 + 1) + 2\operatorname{tg}\varphi_2 yz - 1 = 0,$$

avec $\operatorname{tg}\varphi_2 = C^{te}$.

Elles ont l'origine pour centre.

L'équation générale des tangentes au point z, y, est

$$Z[z(\operatorname{tg}\varphi_2{}^2 + 1) + \operatorname{tg}\varphi_2 y] + Y(y + \operatorname{tg}\varphi_2 z) - 1 = 0.$$

Le coefficient angulaire est

$$-\frac{z(\operatorname{tg}^2\varphi_2 + 1) + \operatorname{tg}\varphi_2 y}{y + \operatorname{tg}\varphi_2 z},$$

il s'annule pour

$$z = -\frac{\operatorname{tg}\varphi_2 y}{\operatorname{tg}^2\varphi_2 + 1},$$

et devient infini pour

$$z = -\frac{y}{\operatorname{tg}\varphi_2}.$$

Tangentes parallèles à oz.

$$z = -\frac{\operatorname{tg}\varphi_2 y}{\operatorname{tg}^2\varphi_2 + 1},$$

qui donne pour les coordonnées du point de contact correspondant

$$y^2 + \operatorname{tg}^2\varphi_2 y^2 - \frac{2\operatorname{tg}^2\varphi_2 y^2}{\operatorname{tg}^2\varphi_2 + 1} - 1 = 0,$$

d'où

$$y = \pm\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2\varphi_2} = \pm\frac{1}{\cos\varphi_2},$$

et par conséquent

$$z = \mp\frac{\operatorname{tg}\varphi_2}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2\varphi_2}} = \mp\sin\varphi_2.$$

Tangentes parallèles à oy.

$$z = -\frac{y}{\operatorname{tg}\varphi_2}$$

donne pour les coordonnées du point de contact correspondant

$$y^2 + \frac{y^2}{\operatorname{tg}^2\varphi_2}(\operatorname{tg}^2\varphi_2 + 1) - 2y^2 - 1 = 0,$$

d'où

$$y = \pm\operatorname{tg}\varphi_2 \quad \text{et} \quad z = \mp 1.$$

On connaît donc le centre de l'ellipse, 4 tangentes parallèles deux à deux, leurs points de contact ; on peut construire la courbe.

En outre, l'équation générale des tangentes permet d'avoir la tangente en un point quelconque.

Digitized by Google

Intersection avec oz.

$$z^2(\mathrm{tg}^2\varphi_2 + 1) - 1 = 0,$$

$$z = \pm \frac{1}{\sqrt{1 + \mathrm{tg}^2\varphi_2}} = \pm \cos\varphi_2.$$

Intersection avec oy.

$$y = \pm 1.$$

Toutes les ellipses passent par les 2 points fixes.

$$z = 0, \quad y = \pm 1.$$

Ellipses symétriques. — Deux valeurs de $x = \mathrm{tg}\,\varphi_2$ égales et de signes contraires donnent deux ellipses symétriques qui se coupent sur l'axe des z.

3. Région a considérer et comparaison avec la figure 2. — Les arcs de courbe à considérer sont ceux pour lesquels on a d'abord $y = \frac{S}{R} > 0$ puisque $S > 0$ et aussi sin $\varphi_1 > 0$ ou < 0 avec cos $\varphi_1 = z > 0$.

Or, sur les ellipses « isotangentes » l'arc supérieur AMB (fig. 5) compris entre les deux points de contact

$$z = -1, \quad y = +\mathrm{tg}\,\varphi_2$$

et

$$z = +1, \quad y = -\mathrm{tg}\,\varphi_2$$

correspond à sin $\varphi_1 > 0$.

La demi-ellipse inférieure BNA correspond à sin $\varphi_1 < 0$.

L'ellipse AMBN correspond à tg $\varphi_2 = -1{,}732$.

Donc, pour une valeur de $x = \mathrm{tg}\,\varphi_2 = a$ donnée *en valeur absolue*, on a à considérer les arcs EM, MB, BE donnant une figure fermée qui jouit des propriétés suivantes, analogues à celles des courbes de la figure 2 :

1° De E en M, cos $\varphi_1 > 0$, sin $\varphi_1 > 0$ et $\mathrm{tg}\,\varphi_2 = a > 0$ (déphasage résultant en arrière).

2° De M en B, cos $\varphi_1 > 0$, sin $\varphi_1 > 0$ et $\mathrm{tg}\,\varphi_2 = -a < 0$ (déphasage résultant en avant).

3° De B en E, cos $\varphi_1 > 0$, sin $\varphi_1 < 0$ et $\mathrm{tg}\,\varphi_2 = -a < 0$ (déphasage initial et déphasage résultant tous deux en arrière).

4. Interprétation électrique de ces courbes et comparaison avec la figure 2. — La figure composée des trois arcs d'ellipse est analogue aux courbes de la figure 2. Evidemment, elle jouit des mêmes propriétés, que je vais énumérer, après avoir remarqué que, marchant à $\mathrm{tg}\,\varphi_2 = \mathrm{C^{te}}$, on aura $y = \frac{S}{R}$ de plus en plus petit à mesure que cos φ_1 ira en augmentant, du moins tant que tg φ_2 sera positif et φ_2 en arrière.

1° La courbe de la figure 2 part de l'origine pour cos φ_1 = cos φ_2 = 0. Sur la figure 5, quel que soit $y = \frac{S}{R}$, toutes les ellipses passent au point M

$$z = 0 = \cos\varphi_1, \qquad y = +1 = \frac{S}{R}.$$

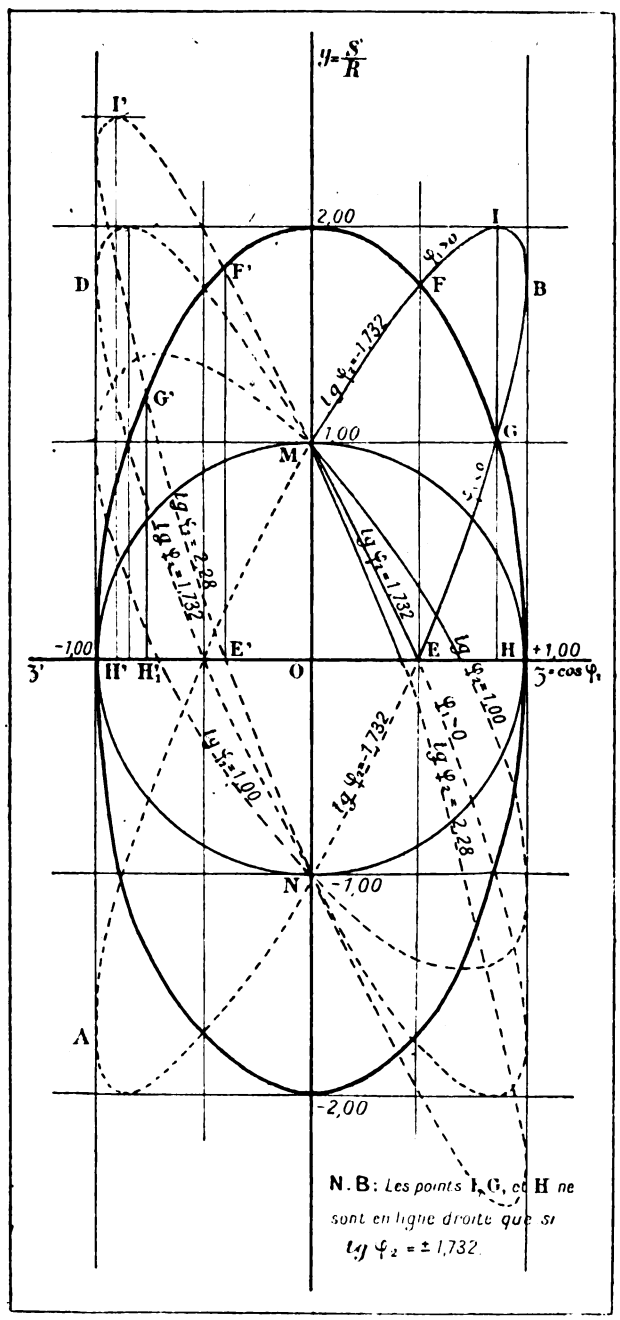


Fig. 5.

Or le point M est sur oy, et oy est le lieu des points $\mathrm{tg}\,\varphi_2 = \pm\infty$ et, par conséquent, des points cos $\varphi_2 = 0$. Le point M de la figure 5 correspond à l'origine des coordonnées de la figure 2.

Digitized by Google

2° cos φ_1 continuant à croître, une même valeur de tg φ_2 sera obtenue pour des valeurs de plus en plus petites de $\frac{S}{R}$, jusqu'à obtenir $\frac{S}{R} = y = 0$ pour $x = \cos\varphi_1 = \cos\varphi_2$ (point E), ce qui est évident à priori ; sans moteur synchrone, cos $\varphi_1 = \cos\varphi_2$.

Le point figuratif a décrit l'arc M E, et il vient en E pour cos $\varphi_1 = \cos\varphi_2$ et $\frac{S}{R} = 0$.

3° cos φ_1 dépassant la valeur cos φ_2 qui correspond à la valeur de tg φ_2 considérée, nous nous trouvons dans le cas où cos $\varphi_1 > \cos\varphi_2$, par conséquent $\varphi_1 < \varphi_2$; nous devons faire décrire à notre point figuratif l'arc E B sur lequel tg $\varphi_2 < 0$ et sin $\varphi_1 < 0$.

En effet, le déphasage résultant φ_3 ne sera en valeur absolue supérieur au déphasage initial φ_1 que s'ils sont tous deux en avant. La branche EB correspond à la branche inférieure des courbes sur la figure 2.

4° cos φ_1 croît ainsi jusqu'à la valeur 1, pour laquelle $y = +\frac{S}{R} = -$ tg φ_2 (nous admettons $S > 0$). Or, sur la figure 2, le point de contact de la courbe $\frac{S}{R} = C^{te}$ avec la verticale cos $\varphi_1 = 1$ a pour ordonnée cos φ_2 tel que $\frac{S}{R} = -$ tg φ_2.

Le point B est donc bien ici celui qui correspond à ce point de contact.

5° cos φ_1 décroissant de 1 à 0, c'est-à-dire le point figuratif décrivant l'arc BFM avec $\varphi_1 > 0$, le déphasage résultant en avant, $\varphi_3 < 0$, pourra s'obtenir avec des $\frac{S}{R} = y$ de plus en plus petits.

En réalité, ce raisonnement n'est qu'approximatif : $\frac{S}{R} = y$ croît d'abord pendant que $x = \cos\varphi_1$ décroît de + 1 à sin φ_2 (maximum de $\frac{S}{R} = y$, point de contact avec la tangente parallèle à oz).

$\frac{S}{R}$ décroît ensuite jusqu'à ce que le point figuratif ait atteint M_1, point où la courbe se ferme, et la branche BFM correspond à la branche des courbes figure 2 comprise entre cos $\varphi_2 = 1$ et cos $\varphi_1 = 1$.

Nous retrouvons une analogie de cette variation sur la figure 2. Sur cette figure 2, nous avons par hypothèse $\frac{S}{R} = C^{te}$ et ici $\frac{S}{R}$ est justement une de nos variables Si, par un point de la figure 2 nous menons la parallèle à oz cos $\varphi_2 = C^{te}$, cette horizontale sera tangente à l'une des courbes $\frac{S}{R} = C^{te}$ avec $\frac{S}{R} > 1$. En effet, prenons par exemple l'horizontale cos $\varphi_2 = 0{,}80$ qui est tangente au point cos $\varphi_1 = 0{,}60$ à la courbe $\frac{S}{R} = 1{,}25$.

La valeur $\frac{S}{R} = 1{,}25$ représente le maximum de ce que peut être $\frac{S}{R}$ pour cos $\varphi_2 = 0{,}80$. En effet, l'horizontale cos $\varphi_2 = 0{,}80$ coupe toutes les courbes pour lesquelles $\frac{S}{R} < 1{,}25$; elle est tangente à $\frac{S}{R} = 1{,}25$ et ne coupe pas les courbes $\frac{S}{R} > 1{,}25$ puisque ces courbes ont chacune pour ordonnée maximum un cos $\varphi_2 = \frac{R}{S} < 0{,}80$. Nous avons vu, lors de l'étude des figures 4 et 8 du précédent article, que pour la valeur de φ_2 correspondant à ce maximum de $\frac{S}{R}$, φ_1 et φ_2 sont complémentaires.

Or, sur la figure 5, nous avons calculé que l'abscisse du point de contact avec la tangente horizontale est OH = — sin φ_2 (car sur AMFIBGNA, tg $\varphi_2 < 0$) et en même temps OH = $x = \cos\varphi_1$.

Nous retrouvons donc la même propriété : φ_1 et φ_2 sont complémentaires dans les deux cas suivants :

1° A $\frac{S}{R}$ constant, quand cos φ_2 est maximum ;

2° A cos φ_2 constant, quand $\frac{S}{R}$ est maximum.

Nous avions vu précédemment que sur la courbe figure 5 l'ordonnée du point de contact B est $y = -$ tg φ_2 (avec $\varphi_2 < 0$).

Sur la figure 2, à $\frac{S}{R}$ constant on a aussi une tangente verticale pour cos $\varphi_1 = 1 = x$ et

$$\text{tg}\,\varphi_2 = \frac{S}{R} = y,$$

c'est-à-dire

$$\cos\varphi_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{S^2}{R^2}}}.$$

On peut donc dire que, pour avoir cos $\varphi_1 = 1$, il faut

1° A $\frac{S}{R}$ constant, avoir tg $\varphi_2 = -\frac{S}{R}$;

2° A cos φ_2 constant, avoir $\frac{S}{R} = -$ tg φ_2.

Les figures 2 et 5 donnent une anologie complète entre leurs tangentes verticales et horizontales.

6° Sur la figure 2, pour $\frac{S}{R} = 1$, la valeur de cos φ_2 est indéterminée pour cos $\varphi_1 = 0$, puisque pour cette valeur de cos φ_1 l'axe des ordonnées (cos φ_2) fait partie de la courbe.

Sur la figure 5, pour $x = \cos\varphi_1 = 0$, et $y = \frac{S}{R} = 1$, le point est commun à toutes les ellipses ; tg φ_2 et par suite cos φ_2 sont également indéterminés.

Digitized by Google

5. Lieu des points tels que $\cos\varphi_1 = \cos\varphi_2$ avec $\sin\varphi_1 = -\sin\varphi_2$. — Ce lieu géométrique se compose de deux parties :

1° $y = 0$; en effet, au point où une ellipse isotangente coupe oz, on a $\cos\varphi_1 = \cos\varphi_2$, *parce que* $\frac{S}{R} = y = 0$.

N'ayant pas introduit de moteur synchrone, on a forcément $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$.

L'axe des z joue ici le rôle que jouait sur la figure 2 la bissectrice des axes en tant que lieu des points $\frac{S}{R} = 0$.

2° Une ellipse que nous allons déterminer.

Quand on a $\sin\varphi_1 = -\sin\varphi_2$, nous avons vu, lors de la discussion de la figure 2, que

$$\sin\varphi_1 = +\frac{S}{2R} = +\frac{y}{2};$$

mais, comme $z = \cos\varphi_1$, on a en même temps

$$z = \pm\sqrt{1 - \frac{y^2}{4}},$$

d'où

$$4z^2 + y^2 - 4 = 0.$$

L'équation du lieu est une ellipse rapportée à ses axes, le petit axe étant oz et le grand axe oy.

Dans l'angle zoy, seul à considérer, cette ellipse coupe une ellipse « isotangente » en deux points. De ces deux points, celui qui a l'ordonnée la plus grande et l'abscisse la plus petite est seul à considérer : c'est le point F.

En effet, pour avoir $\varphi_1 = -\varphi_2$, on doit avoir à la fois $\cos\varphi_1 = \cos\varphi_2$ et $\sin\varphi_1 = -\sin\varphi_2$ avec $\varphi_1 > 0$.

Il faut donc prendre le point situé sur la moitié supérieure AMIB de l'ellipse « isotangente » considérée.

Le point d'intersection cherché du lieu et de l'ellipse « isotangente » est sur la verticale du point E où cette ellipse « isotangente » coupe oz, puisque pour ce point on a

$$\cos\varphi_1 = \cos\varphi_2.$$

Si, d'ailleurs, on coupe par la verticale

$$z = \cos\varphi_2,$$

l'ordonnée du point d'intersection sera y, tel que sur l'ellipse isotangente

$$y^2 + z^2(\operatorname{tg}^2\varphi_2 + 1) + 2\operatorname{tg}\varphi_2 yz - 1 = 0,$$

ou, en substituant la valeur de z,

$$y^2 + \cos^2\varphi_2(\operatorname{tg}^2\varphi_2 + 1) + 2y\operatorname{tg}\varphi_2\cos\varphi_2 - 1 = 0,$$

ou enfin

$$y^2 + 2y\sin\varphi_2 = 0,$$

ce qui donne

$$1^\circ\ y = 0 \text{ (axe des } z),$$
$$2^\circ\ y = -2\sin\varphi_2.$$

Si on substitue cette deuxième valeur de y dans l'équation de l'ellipse du lieu des points $\cos\varphi_2 = \cos\varphi_1$, il vient

$$4\cos^2\varphi_2 + y^2 - 4 = 0,$$

finalement

$$y = \pm 2\sin\varphi_2.$$

La valeur des deux ordonnées est bien la même.

Il faut choisir le signe — parce que S étant positif, si $\cos\varphi_1 = \cos\varphi_2$ et $\sin\varphi_1 = -\sin\varphi_2$, c'est que φ_2 est en avant (négatif).

C'est ainsi que sur la figure 3, les courbes coupent la bissectrice des axes dans la région où $\varphi_2 < 0$.

Quant au point d'intersection G des deux ellipses situé plus à droite, il ne peut convenir, car s'il donne

$$\sin\varphi_1 = -\frac{S}{2R} \quad \text{puisque} \quad \varphi_1 < 0,$$

il donne aussi OH > OE ou $\cos\varphi_1 > \cos\varphi_2$.

Enfin, toute ordonnée $y = \frac{S}{R} > 2$ ne peut rencontrer l'ellipse lieu des points $\cos\varphi_1 = \cos\varphi_2$.

L'horizontale $\frac{S}{R} = 2$ est tangente à cette ellipse, tout comme, sur la figure 2, la courbe de niveau $\frac{S}{R} = 2$ est tangente à la bissectrice des axes.

Toutes les analogies se retrouvent, et avec les mêmes explications ou interprétations électriques.

IV. — **Aperçu général sur la surface.** — Après avoir fait l'étude complète de la figure 2, on aurait pu considérer la question comme épuisée.

Si j'ai poursuivi l'étude de la surface ayant pour équation

$$y = \pm\sqrt{1 - z^2} - xz, \qquad (5)$$

c'est parce que la figure 2 est limitée aux $S > 0$ (moteurs synchrones surexcités) et aux angles usuels compris entre $-\frac{\pi}{3}$ et $+\frac{\pi}{3}$.

Si cette étude de la surface est moins commode à suivre que la figure 2, elle a l'avantage de s'étendre à l'emploi des bobines de réactance et aussi de considérer des angles de déphasage compris entre $-\frac{\pi}{2}$ et $+\frac{\pi}{2}$. Il n'y a aucun inconvénient théorique à envisager de pareils angles, bien que, pour le moment, ils ne soient pas d'un usage courant.

L'étude de la surface (5) nous a donné un aperçu plus général de la question.

Cette surface jouit des propriétés suivantes :

1° Elle est réglée ;

2° Ses génératrices sont parallèles au plan des xy ;

3° La surface est inscrite entre les deux plans $z = \pm 1$;

Digitized by Google

4° Elle est indéfinie dans le sens des $x = \operatorname{tg} \varphi_2$ ainsi que dans celui des $y = \frac{S}{R}$;

5° Une certaine courbe peut être tracée sur cette surface, cette courbe sera le lieu des points donnant $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2$ avec $\sin \varphi_1 = -\sin \varphi_2$.

Nous avons cette courbe par ses trois projections et les procédés ordinaires de la géométrie descriptive permettraient de la construire : il suffit de considérer, pour chacun des plans de projection, le cylindre projetant ayant pour directrice le lieu géométrique correspondant au plan de projection intéressé et de chercher l'intersection du cylindre projetant avec la surface;

6° Enfin, sur la surface, on doit se borner à considérer la région pour laquelle :

$x = \operatorname{tg} \varphi_2$ varie de $-\infty$ à $+\infty$;

$y = \frac{S}{R}$ reste positif en variant de o à $+\infty$;

$z = \cos \varphi_1$ varie de o à 1 en même temps que $\sin \varphi_1$ varie de $+1$ à -1.

Ceci, bien entendu, tant qu'on se limite à l'emploi des courants S en quadrature et en avance, et à la considération des circuits industriels.

La même surface donne tous les renseignements concernant les $\frac{S}{R}$ négatifs correspondant à l'emploi de réactances et de courants en quadrature et en arrière, de même qu'à des courants déphasés en avant ou en arrière d'un angle supérieur à $\frac{\pi}{2}$, courants dont la conception n'est pas usuelle, mais n'a rien d'absurde et sera peut-être un jour utile.

Mon but, en rédigeant ces quelques notes, a été de fixer le souvenir de certaines recherches personnelles et de faciliter ainsi la tâche de ceux qui auraient à en entreprendre de semblables.

Paul RIEUNIER,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

Sur la résistance et la réactance effectives d'un câble armé triphasé pour les harmoniques du courant

Dans cette note, présentée par M. Blondel à l'une des dernières séances de l'Académie des sciences (1), *M. Swyngedauw apporte une nouvelle contribution à une étude du fonctionnement des réseaux triphasés qu'il avait commencée avant la guerre et au sujet de laquelle il avait publié diverses notes en 1914* (2).

Lorsqu'un générateur triphasé a ses circuits associés en étoile connectée au sol et alimente des récepteurs isolés, on sait que des surtensions sont possibles sur le réseau. Les harmoniques 3 de la force électromotrice engendrent des courants de capacité synchrones et identiques entre eux dans chacun des trois conducteurs du câble. Ces courants créent des lignes de force qui s'enroulent autour de ces conducteurs, à l'intérieur de l'enveloppe et du feuillard et en dehors du câble.

Pour prévoir et calculer les surtensions, il faut connaître notamment les résistance et réactance effectives linéiques du câble (3).

Pour déterminer ces constantes du câble, on a formé une boucle avec deux câbles triphasés émanés de la sous-station S et aboutissant à un même poste de transformation T.

Les trois conducteurs de chacun des câbles étaient connectés ensemble à leurs extrémités. Ces dernières étaient bouclées en T; et à la sous-station S les départs des deux câbles étaient connectés aux bornes d'une source à fréquence donnée (commutatrice, transformateur, alternateur de grande fréquence); on formait ainsi un circuit monophasé dans lequel on pouvait considérer le courant comme ayant la même valeur dans chacune des sections du circuit bouclé. On mesurait le courant I ampères, la tension U volts entre les bornes du câble, la puissance consommée P watts; on obtenait l'impédance Z et la résistance effective R du circuit en ohms par les quotients

$$R = \frac{P}{I^2}, \quad Z = \frac{U}{I},$$

on en déduit la réactance $X = \sqrt{Z^2 - R^2}$.

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 16 décembre 1918, t. CLXVII, p. 994-996.

(2) SWYNGEDAUW (R.) La résonance de l'harmonique 3 dans les réseaux à courants triphasés; *La Revue électrique*, 20 février 1914, t. XXI, p. 178-179.

Résonance des harmoniques 3 des transformateurs en courant triphasé; *R. E.*, 6 mars 1914, t. XXI, p. 225-226.

Sur la résonance des limiteurs de tension à intervalle explosif; *R. E.*, 1er mai 1916, t. XXI, p. 438.

Surtensions dues aux ondes mobiles créées par les manœuvres d'interrupteurs et les arcs à la terre; *R. E.*, 21 septembre 1914, t. XXII, p. 217 et 222-230.

Sur le contrôle de l'isolement d'un réseau triphasé; *R. E.*, 16 octobre 1914, t. XXII, p. 305-306.

(3) Rappelons que la résistance effective linéique est la résistance kilométrique qui sous le même courant dégage, par seul effet Joule, la même énergie calorifique que dégage réellement ce kilomètre de câble, non seulement par effet Joule dans ses âmes, mais encore par hystérésis et courants de Foucault dans le feuillard et l'enveloppe.

Digitized by Google

Les constantes R, Z, X divisées par la longueur L du câble en kilomètres donnent les résistances, impédance et réactances linéiques en ohms par kilomètre, r, z, x, dans les conditions de l'expérience.

Avec des câbles 3×100 mm², enveloppe de plomb, épaisseur 4 mm, et deux feuillards, épaisseur 0,8 mm, câbles dont la longueur de la boucle était comprise entre 4 km et 12 km, les résultats principaux sont les suivants :

1° *La résistance effective linéique pour la fréquence* 50 p : sec *était environ* 0,5 ohm : km, *c'est-à-dire environ* 14 *fois plus grande que la résistance ohmique en courant continu.*

Les mesures faites aux fréquences 50, 150, 450 p : sec, montrent que *la résistance varie avec la fréquence suivant une loi sensiblement linéaire*

$$r = a + bF,$$

a et b étant des constantes (variant avec le courant).

De 0,5 ohm : km à la fréquence 50 p : sec, la résistance r passe à 0,9 ohm : km à la fréquence 450 : elle ne double pas quand la fréquence varie dans le rapport 1 à 9.

2° *La réactance linéique x suit des lois analogues :* elle est environ les 0,8 de la résistance r. On remarquera *l'effet amortisseur énergique des protecteurs métalliques du câble pour les harmoniques* 3. C'est sans doute à cette action si efficace qu'on doit d'avoir si peu de surtensions à déplorer malgré l'importance et la fréquence des cas où l'harmonique 3 entre en jeu.

Les valeurs de r et x ainsi obtenues correspondent elles bien à celles de l'harmonique 3 de même fréquence ? Il est aisé de voir qu'elles leur sont inférieures. En effet, les lignes de force créées par l'harmonique 3 s'étendent dans tout l'espace entre l'âme et l'infini, tandis que, dans le circuit monophasé en expérience, elles ne se développent que dans l'aire embrassée par la boucle ; mais il est évident qu'on se rapproche d'autant plus de la distribution du flux, pour l'harmonique 3, que les conducteurs aller et retour de la boucle sont plus espacés.

J'ai pu opérer sur deux câbles posés dans une même tranchée et deux autres posés dans des tranchées espacées de 1 km à 2 km.

Dans ce dernier cas r et s dépassent de $\frac{1}{4}$ environ les valeurs correspondantes du premier cas.

La discussion des résultats permet de conclure que, pour les câbles expérimentés et pour l'harmonique 3 de la fréquence fondamentale 50 p : sec, r est compris entre 0,67 et 0,78 ohm : km et x entre 0,45 et 0,56 ohm : km.

R. Swyngedauw,
Directeur de l'Institut électrotechnique de Lille.

Revues, analyses et informations

Influence d'un champ magnétique et d'une agitation mécanique du bain sur la différence de potentiel aux bornes d'une cuve électrolytique (1).

Lorsqu'un courant continu traverse un électrolyte, il y a polarisation des électrodes et il semble qu'il existe une relation intime entre ce phénomène et l'action d'un champ magnétique sur ces mêmes électrodes. Une étude de cette polarisation est très importante pour les recherches électrophysiologiques, car elle se manifeste dans tous les tissus vivants parcourus par un courant électrique. Tout corps vivant est constitué par un grand nombre de cellules formées chacune de protoplasma et d'une membrane semi-perméable ; quand un courant circule de l'une à l'autre, il se produit une inégale concentration des ions et, par suite, il y a polarisation de la membrane.

En plus de l'action d'un champ magnétique, l'auteur a aussi étudié l'effet d'une agitation du bain au voisinage des électrodes.

I. — Dispositif expérimental. — Les électrodes sont constituées par des fils de platine ou de fer immergés aux deux extrémités d'une cuve rectangulaire en ébonite de dimensions 20 cm × 3 cm × 2 cm. Avant chaque essai, les électrodes de platine sont rafraîchies et lavées à l'eau distillée ; celles en fer sont polies. La tension appliquée aux bornes de la cuve est fournie par un ou plusieurs éléments d'accumulateurs ou, encore, par des piles sèches. Le champ maximum utilisé n'a jamais dépassé 6 900 gauss. Pour faire une expérience, on dispose le grand côté de la cuve parallèlement au champ quand on désire étudier son action simultanément sur les deux électrodes ou perpendiculairement quand une seule électrode est en jeu. Il faut, dans ce dernier cas, que la cuve soit assez longue pour soustraire l'autre électrode à l'action de l'électro-aimant.

Pour mesurer la différence de potentiel aux bornes de la cuve, l'auteur a utilisé tour à tour un dispositif en pont de Wheatstone ou un galvanomètre Desprez-d'Arsonval branché aux bornes avec une très grande résistance. Aucune de ces deux méthodes n'a permis de travailler avec un zéro bien constant ; néanmoins les déviations étaient assez nettes pour des observations quantitatives avec un champ magnétique, elles sont identiques à celles que produirait un abaissement de la différence de potentiel par polarisation des électrodes.

II. — Résultats. — A. *Électrodes en platine et solution semi-normale de chlorure de fer.* — 1. Le courant étant réglé de telle sorte qu'il n'y ait pas dégagement de bulles, on établit et on supprime le champ un certain nombre de

(1) Toshikazu Mashimo. *Memoirs of the College of Science Kyoto Imperial University*, octobre 1917, t. II, n° 6, p. 341-347, 2 fig.

Digitized by Google

ois à des intervalles de temps égaux, toutes les six minutes par exemple. Dès que l'électro est excité, on constate une déviation du galvanomètre, mais qui diminue progressivement avec le temps.

2. Quand on donne au champ des valeurs croissantes, de 3 000 à 6 900 gauss, par exemple, son action va d'abord en augmentant, puis elle tend asymptotiquement vers une limite.

3. Application du champ à chaque électrode successivement. L'action est plus grande sur la cathode que sur l'anode.

4. Expériences avec d'autres électrolytes. Avec des solutions de sulfate ferreux et de ferricyanure de potassium, l'effet est, en substance, le même que dans le cas précédent : cependant il est moins intense. Dans les bains d'azotate de cobalt, il est très faible et plus faible encore avec le chlorure de nickel.

B. *Electrodes en fer et solution semi-normale de trichlorure de fer.* — 1. Un champ intense produit des effets identiques à ceux signalés pour les soudes en platine : par contre, le sens de la déviation de l'aiguille indique une augmentation de la différence de potentiel quand on soumet l'anode seule à un champ faible.

2. Avec un courant relativement fort à travers l'électrolyte, on constate que le champ, en agissant sur l'une ou l'autre électrode, produit toujours une diminution de la différence de potentiel entre les électrodes ; au contraire, avec un courant faible, il y a légère augmentation de la différence de potentiel si c'est l'anode qui est soumise au champ et légère diminution, si c'est la cathode.

C. *Influence de l'agitation mécanique du bain.* — Il y a toujours augmentation de la différence de potentiel entre anode et cathode. L'auteur a expérimenté avec des électrodes en platine, fer, cuivre et nickel, immergées dans des solutions convenables. L'agitation du liquide au voisinage d'une électrode se fait avec une baguette de verre en ayant soin toutefois de ne pas troubler le régime de l'autre électrode. La déviation du galvanomètre va en croissant avec l'énergie de l'agitation, puis finalement atteint une valeur limite. Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus.

TABLEAU I.

MÉTAL DE L'ÉLECTRODE	NATURE DE LA SOLUTION	POTENTIEL A L'ÉLECTRODE TROUBLÉE	POTENTIEL A L'ÉLECTRODE NON TROUBLÉE
Fer.	1/2 mol. de Fe^2Cl^6.	+	—
Nickel.	1 mol. de $NiCl^2$.	+	—
Platine.	HCl dilué.	—	+
Cuivre.	HCl dilué.		+

En général, l'effet est plus net qu'avec le champ magnétique quoique identique en substance. Quand le courant de l'électrolyte est faible, l'agitation près de la cathode a pour conséquence une diminution de la différence de potentiel, tandis que l'agitation à l'anode augmente la différence de potentiel entre électrodes ; cette dernière augmentation est toutefois très faible si le courant de l'électrolyte est trop intense. En résumé, par l'agitation du bain autour des électrodes, celles-ci deviennent anodes ou cathodes suivant la nature du métal et de la solution employés.

CONCLUSION. Toutes ces expériences montrent nettement que l'action d'un champ magnétique sur l'une des électrodes a pour effet de diminuer la différence de potentiel entre les bornes de la cuve. Pour expliquer les résultats consignés dans le tableau ci-dessus, l'auteur rappelle qu'à la surface de contact d'un métal et d'un électrolyte il se manifeste une différence de potentiel due à la pression de dissolution du métal, la solution et le métal étant chargés en sens contraires. Par l'agitation du liquide au voisinage du métal, cette différence de potentiel est troublée et tend à disparaître, mais, comme à l'autre électrode la différence de potentiel due à la pression de dissolution ne change pas, il se produit une différence de potentiel entre les deux électrodes. Pour les expériences suivantes, on peut dire que l'application aux bornes de la cuve d'une tension extérieure a pour effet de diminuer la différence de potentiel existant entre l'anode en fer et la solution et due à la pression de dissolution ; entre la cathode en fer et la solution, cette différence de potentiel est au contraire accrue. Par conséquent, l'effet de l'agitation du bain près des électrodes était plus nette à la cathode qu'à l'anode, dans le cas d'un courant intense ; avec un faible courant, au contraire, l'effet se manifestait au même degré aux deux électrodes.

La résistivité électrique de l'acier trempé (1).

Bien que la résistivité électrique de l'acier et des autres alliages dépende de leur constitution chimique, les lois de cette dépendance n'ont été reconnues que dans les trente dernières années, lorsque la théorie de l'acier sous forme de solution a été introduite. L'acier a été considéré pendant très longtemps comme une solution solide plus ou moins saturée de carbone et autres corps solubles et plus ou moins modifiée par le recuit. Cette modification de la texture de l'acier par le recuit et son influence sur la résistivité a fait l'objet d'un grand nombre de recherches, en particulier par Barus et Strouhal. L'objet de la présente étude est de fournir quelques renseignements sur la variation de la résistivité lorsque la température de recuit ne dépasse pas 100°. L'auteur a exécuté ses essais sur un certain nombre d'échantillons d'acier dont il donne les compositions ; les échantillons étaient des barres carrées de 6 mm de côté et de 150 mm de longueur, ces barres étaient amenées à la température désirée pour la trempe dans un four électrique et trempées à l'eau maintenue à 10°. Après la mesure de la résistivité, les barres étaient recuites à 100° au four électrique pendant une heure, après quoi la résistivité était mesurée à 25° ; cette opération fut renouvelée jusqu'à 12 fois, donnant ainsi une durée totale de recuit de 12 heures ; pour un des échantillons la résistivité passa ainsi progressivement de 39,73 à 29,19 microhms, les autres échantillons montrèrent des variations plus ou moins importantes, mais varièrent tous dans le même sens. Les échantillons non recuits maintenus à la température ordinaire et mesurés périodiquement montrèrent une variation faible mais continue, importante surtout pendant les quatre premiers mois pour aller en diminuant progressivement ; la résistivité de l'échantillon donné ci-dessus était descendue, après deux ans, à 36,47 microhms.

E. B.

(1) E.-D. CAMPBELL. *Engineering*, 1er novembre 1918, t. CVI, p. 509, 800 mots, 2 fig., 3 tab.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

La nouvelle turbine de 2500 ch de l'usine hydro-électrique de Kubel près Saint-Gall (Suisse)

L'article que nous publions ci-dessous décrit un nouveau type de turbine mis en service par la maison Escher-Wyss, ainsi qu'un nouveau régulateur spécialement adapté aux garanties de régulation imposées. Le groupe se distingue par une construction très ramassée provenant de ce que l'arbre de la roue motrice de la turbine se trouve en porte-à-faux, ce qui permet au coude de fuite de ne pas être traversé par l'arbre. On donne également les résultats des essais ayant en vue la détermination des rendements et des débits, ainsi que les essais de régulation.

I. — C'est à l'année 1900 que remonte la mise en service de l'usine de Kubel; la production de force motrice qui, au début, était de 2000 ch fut portée, par suite des besoins toujours croissants, à environ 9000 ch en 1914. Une nouvelle extension fut réalisée en 1915 par l'installation d'une turbine de 2500 ch.

Tandis qu'à l'époque du premier aménagement de l'usine le développement atteint dans la construction des turbines hydrauliques ne permettait, pour la chute dont on disposait, de 87·94 m, que l'emploi de turbines à jet libre, celles-ci furent, lors du premier agrandissement, en partie remplacées par des turbines Francis de plus grandes dimensions. Ces turbines, du type simple à spirale, étaient prévues pour développer 1000 ch à la vitesse de 500 t : min. Plus tard, une turbine de 2500 ch, 500 t : min, fut encore installée; en raison de la poussée axiale, il fallut toutefois adopter le type à spirale double.

La dernière turbine, installée en 1915, que nous nous proposons de décrire dans cet article, est également prévue pour une puissance de 2500 ch, 500 t : min; cependant, en vue d'en restreindre l'encombrement et d'en augmenter le rendement autant que possible, elle a été construite à spirale simple avec roue motrice en porte-à-faux.

La construction, très ramassée, est visible sur les figures 1 et 2. L'alternateur, de disposition normale, comporte deux paliers. Le bout d'arbre de la turbine, sur lequel est clavetée la roue motrice, est relié rigidement à l'arbre de l'alternateur par une bride venue de forge. Si la roue motrice n'est pas simplement disposée sur le prolongement de l'arbre de l'alternateur, c'est afin de pouvoir enlever facilement le rotor de ce dernier sans devoir pour cela démonter la turbine.

Le palier de l'alternateur, côté turbine, a uniquement à supporter le poids du bout d'arbre et de la roue, à l'exclusion de toute autre charge venant de la turbine, la poussée axiale étant équilibrée hydrauliquement par un dispositif spécial. Cet équilibrage est réalisé par la pression que produit l'eau circulant dans les deux canaux annulaires disposés de chaque côté de la roue motrice. A cet effet, cette dernière possède deux faces soigneusement rodées qui, avec les surfaces correspondantes de la flasque d'une part et du tuyau d'écoulement d'autre part, forment des interstices de quelques dixièmes de millimètre. Si la roue vient à se déplacer, la pression, par suite du rétrécissement de l'interstice, montera dans l'un des canaux annulaires, tandis qu'elle baissera dans l'autre, tendant ainsi à ramener la roue motrice dans sa position moyenne. Pour cela, les paliers de l'alternateur doivent avoir un certain jeu. Du côté de l'aspiration, l'eau provenant des interstices s'écoule d'elle-même dans le coude d'aspiration, tandis que du côté de la flasque son chemin est tracé, d'une part, par des évidements ménagés dans le moyeu de la roue motrice, et, d'autre part, par un tuyau d'écoulement qui la conduit au coude d'aspiration. Pour régler, suivant les besoins de l'exploitation, la quantité d'eau s'écoulant par ce tuyau, il suffit d'y monter une vanne.

Les aubes motrices et directrices sont en acier coulé. Ces dernières sont mobiles et logées dans les couvercles des roues directrices au moyen de tourillons venus de fonte; ces tourillons dépassent le couvercle du côté du réglage et portent de petits leviers qui, par l'intermédiaire de bielles, sont reliés au réglage commun. Des trous forés dans les tourillons permettent de graisser séparément les aubes. Le mécanisme de réglage que nous venons de décrire, appelé réglage extérieur, offre ce gros avantage, qu'à l'exception des aubes mobiles proprement dites, toutes les pièces sont disposées à l'extérieur de la bâche; elles ne sont donc pas soumises à l'action érosive de l'eau tout en étant d'un accès et d'un graissage aisés. La forme des aubes directrices a été choisie de manière que la résistance offerte au passage de l'eau soit réduite à un minimum.

Les pièces en contact avec l'eau, telles que les parois

Digitized by Google

latérales des canaux directeurs et les parois formant interstices avec la roue motrice, sont préservées d'une usure hâtive par des revêtements en fer forgé facilement remplaçables. Il était indiqué de constituer une réserve permanente de ces revêtements, étant donné que l'eau charrie parfois beaucoup de sable.

La bâche spirale et le coude de sortie de l'eau sont en fonte ; ils sont boulonnés solidement au cadre de fondation qui est raccordé à son tour à la plaque de base de l'alternateur. Le tuyau d'aspiration, en tôle, a une longueur de 6,5 m. Pour l'inspection de la roue motrice, le coude de fuite peut être enlevé très facilement, car on a vu que l'arbre de la turbine ne se prolonge pas à travers le coude.

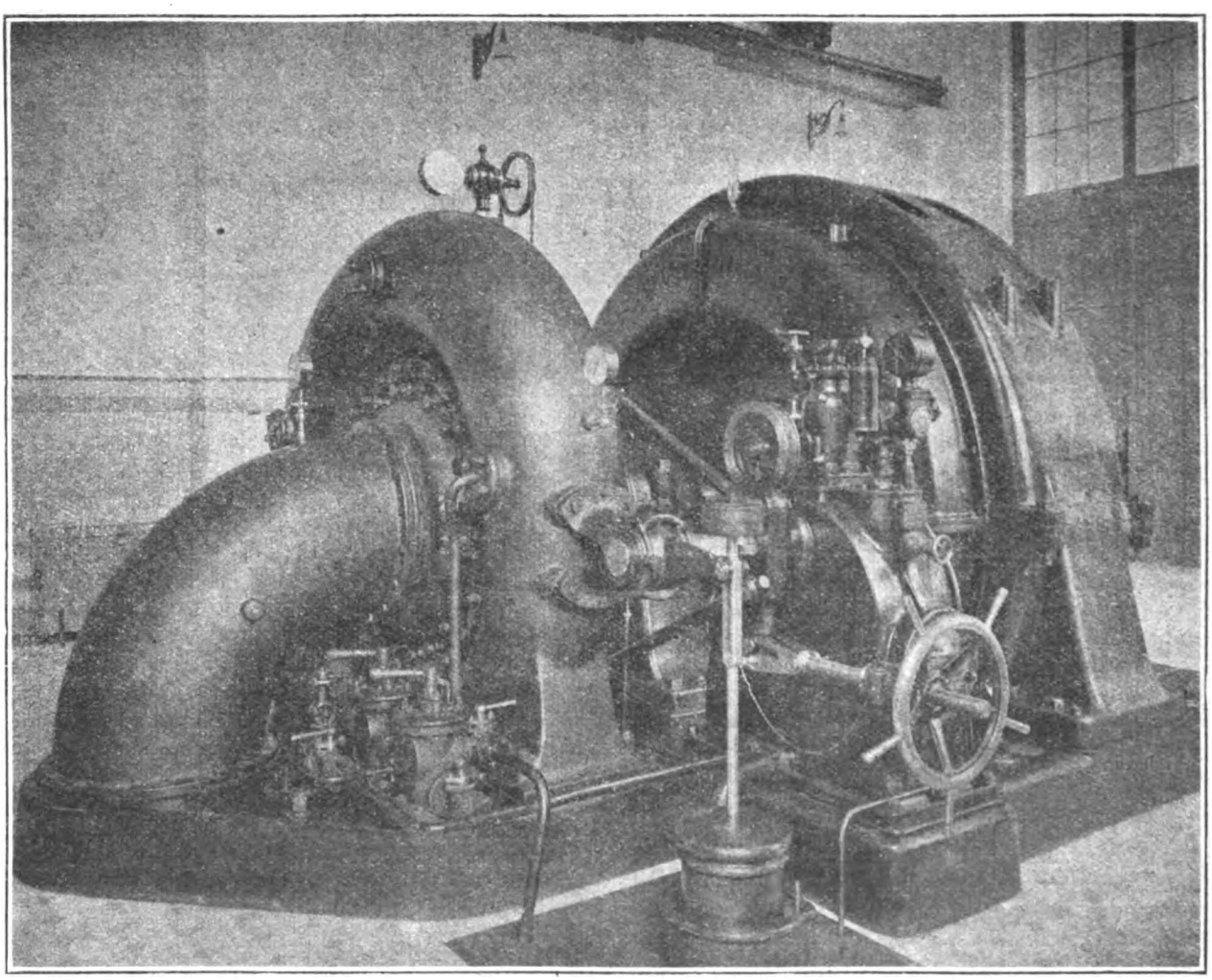


Fig. 1. — Vue de la nouvelle turbine Escher-Wyss de 2 500 ch, 500 t : min à spirale simple et roue motrice en porte-à-faux, installée à l'usine hydro-électrique de Kubel près de Saint-Gall (Suisse).

II. — Le réglage de la turbine s'opère par un régulateur hydraulique, système Escher Wyss et Cie, de la construction la plus récente, et qui, par rapport aux types antérieurs, présente de notables améliorations. Bien que le régulateur universel à pression d'huile construit jusqu'ici par cette maison ait donné les meilleurs résultats dans la pratique et toujours rempli les garanties parfois sévères exigées pour des variations de charge de 25 à 100 pour 100, il fut néanmoins possible de réaliser encore quelques améliorations d'ordre constructif, dont l'utilité était peu à peu apparue au cours du temps. Mais le motif déterminant de la construction du nouveau régulateur fut avant tout la constatation, faite à plusieurs reprises, que le degré d'uniformité atteint dans certaines exploitations à nombreuses variations de charge relativement faibles (entreprises de tramways, par exemple), ne représentait pas encore la limite extrême que l'on pouvait exiger.

Le nouveau régulateur est représenté, en photographie et en coupe, par les figures 3 et 4 à 6. Sa caracté-

Digitized by Google

ristique essentielle réside dans le fait que l'interruption du mouvement de réglage se produit généralement à peu près au moment où elle est nécessaire.

La disposition du servo-moteur double 2-3 dans le bâti 1 servant de réservoir d'huile a été conservée sans changement comme dans le modèle universel de la maison Escher-Wyss.

Les mouvements du piston double sont transmis par une articulation spéciale du levier 4 et à l'arbre de réglage 5 qui lui, à son tour, actionne les organes de réglage de la turbine. La répartition de pression sur les deux côtés du servo-moteur s'opère par la soupape de réglage 7-7a logée également dans le bâti. La pompe à engrenages 6 amène par le canal 30 de l'huile sous pres-

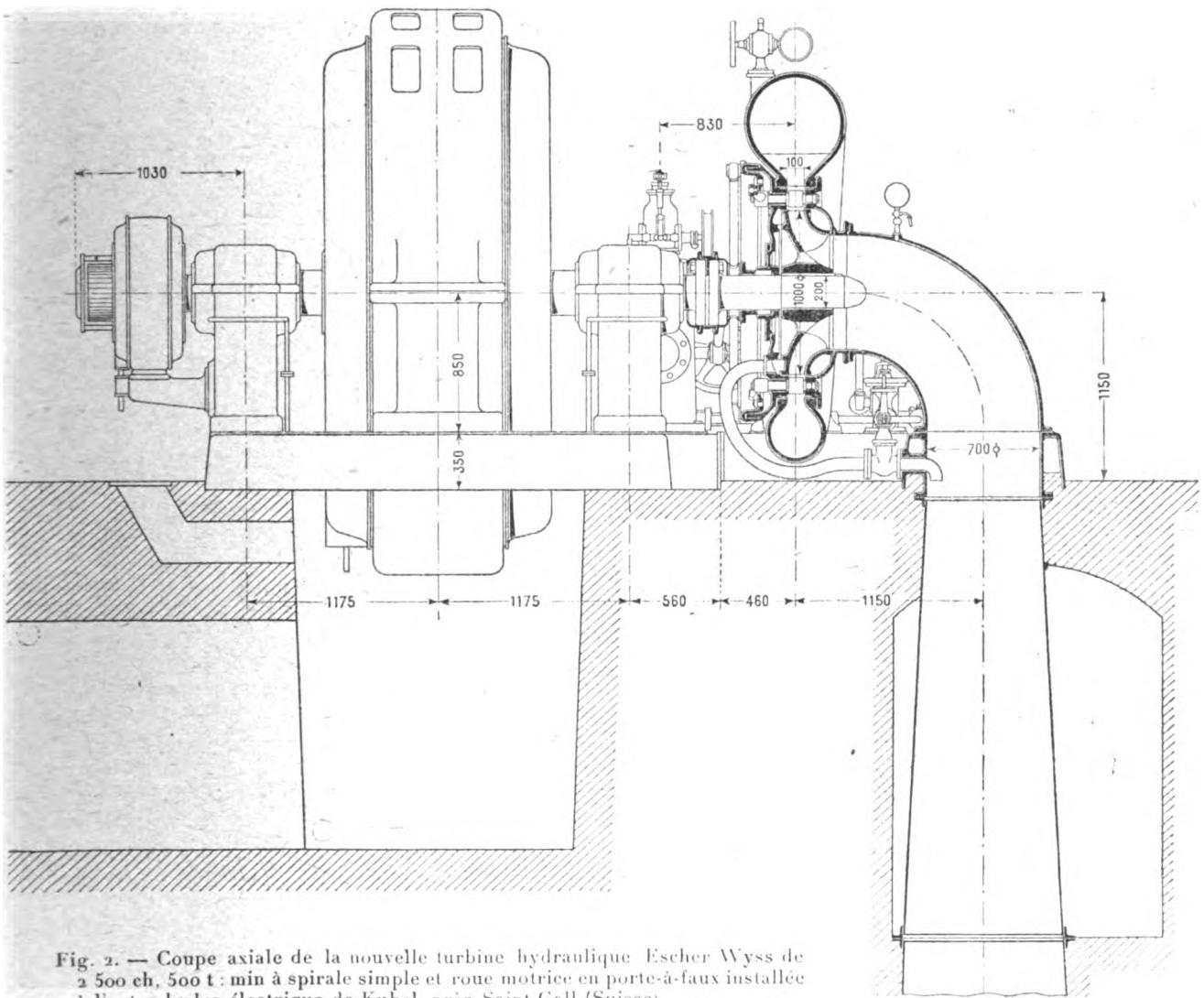


Fig. 2. — Coupe axiale de la nouvelle turbine hydraulique Escher Wyss de 2 500 ch, 500 t : min à spirale simple et roue motrice en porte-à-faux installée à l'usine hydro-électrique de Rubel, près Saint-Gall (Suisse).

sion à la chambre médiane 31 de cette soupape de réglage. A la chambre 31 est raccordée la soupape de sûreté 8 chargée par un ressort, laquelle limite la pression d'huile du régulateur à un maximum. Les chambres supérieures et inférieures 32 et 32a de la soupape de réglage servent à l'échappement et sont en communication directe avec le réservoir 1, tandis que les chambres centrales 33 et 34 sont raccordées par les canaux 33a et 34a avec les cylindres respectifs 3 et 2 du servo-moteur. Grâce à la soupape de communication 9 ces deux côtés du servo-moteur peuvent être reliés entre eux. Les arêtes de la soupape de réglage nommée aussi soupape de distribution 7-7a n'ont à la position moyenne du mécanisme de commande qu'un très faible jeu. La pompe ne travaille donc en service normal qu'à une très faible pression, qui aux moments des réglages monte automatiquement à la valeur nécessaire pour surmonter la résistance du servo-moteur. La tige de la sou-

Digitized by Google

pape de distribution possède deux butées 12a qui ont pour effet de limiter sa course. L'actionnement de la soupape de distribution se fait par l'intermédiaire des deux leviers doubles 11 et 11a entre lesquels est disposé le dash-pot 18. Cet actionnement ne s'opère pas directement du pendule à force centrifuge 13, mais par l'entremise d'un dispositif nommé avant-commande, construit d'une façon connue et combiné avec la partie supérieure du pendule. Cette avant-commande comporte entre autres un piston différentiel 35. Le pendule à ressort actionne uniquement le pointeau 14, qui, tournant avec lui, en fait partie intégrante et influence la répartition de pression dans l'avant-commande 35. La

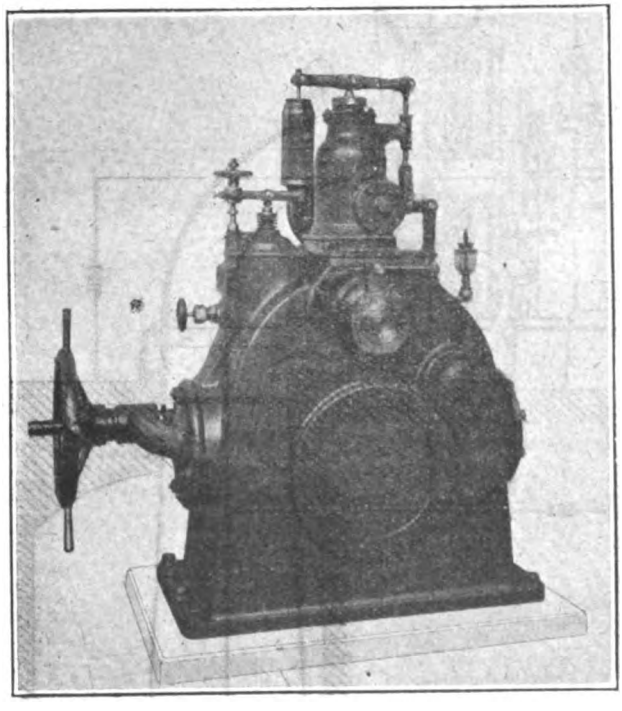


Fig. 3. — Vue du nouveau régulateur de la turbine hydraulique Escher-Wyss de 2 500 ch de l'usine hydro-électrique de Kubel, près Saint-Gall (Suisse).

commande du pendule à ressorts logé dans une huche fermée hermétiquement et tout à fait étanche à l'huile se fait par une paire de roues hélicoïdales, marchant dans un bain d'huile, au moyen de l'arbre horizontal 15. Celui-ci est à son tour commandé par l'arbre de la turbine, dans la plupart des cas, au moyen d'une courroie. Il en est de même de la pompe à huile 6.

Pour de grands régulateurs, il est parfois très recommandable d'actionner la pompe par une petite turbine spéciale, qui peut être mise en marche en premier lieu, de sorte qu'une pression d'huile est toujours à disposition pour la mise en route du groupe principal. Il n'y a dans ce cas qu'à veiller à ce que l'eau pour la turbine actionnant la pompe soit prise avant la vanne d'arrêt principale de la grande turbine. Le nouveau régulateur présente, de plus, par une disposition brevetée, une sécurité toute particulière contre l'emballement lors d'un arrêt de la commande du pendule, par exemple si la courroie se déchire ou tombe de la poulie. L'huile sous pression pour l'avant-commande 35 n'est pas fournie par la pompe 6, mais par une pompe à engrenage spécial 36, montée sur l'arbre de commande horizontal du pendule 15. Cette disposition empêche avec sûreté l'emballement en question, avec le concours du ressort prévu sous le piston de l'avant-commande 35 qui tend à fermer la turbine. Si, pour une raison ou pour une autre, la commande du pendule refusait de fonctionner, la petite pompe à huile 36 ne fournirait naturellement plus d'huile sous pression et le piston 35 monterait sous l'influence du ressort, provoquant la position fermée du piston de la soupape de distribution, bien que le pointeau 14, par suite de l'arrêt du pendule, arrive à la position inférieure qui correspond à l'ouverture complète du vannage de la turbine. Le mécanisme d'asservissement 16 agissant de façon connue sert, dans la marche en parallèle de génératrices à courant triphasé, à répartir la charge entre les différents groupes. Au moyen de la petite roue à main 17, placée sur l'asservissement, on peut ouvrir ou fermer la turbine ou bien en régler la la vitesse.

Il nous reste à examiner brièvement le fonctionnement du régulateur pendant une période de réglage. Dès que la vitesse de la turbine et, par suite, celle du pendule à ressorts 13 monte au-dessus de la valeur normale pour une raison quelconque, le pointeau 14 est soulevé et l'ouverture du diaphragme 37 recouverte, de sorte que la pression intégrale s'applique sous le piston 35 ; ce piston suit le mouvement du pointeau 14 et soulève le levier de commande 11 qui tourne alors momentanément autour du point 19. L'enveloppe du dash-pot 18 se trouve entraînée par le ressort supérieur qu'elle renferme. Le piston de commande 7 est également soulevé par cette enveloppe 18. La course entière du piston étant très faible, une course particulièrement restreinte du pointeau 14, c'est-à-dire un faible changement du nombre de tours, suffit également pour provoquer cette course intégrale du piston de la soupape de distribution et donner la vitesse maximum au servo moteur. La position supérieure du piston 7 a pour effet que, d'une part, le cylindre 2 du servo-moteur est raccordé avec la pompe à huile et que, d'autre part, le cylindre 3 ouvre sur l'échappement, sur quoi se produit un mouvement de gauche à droite, dans le sens de la fermeture du piston double du servo-moteur. Durant ce travail de réglage, le nombre de tours de la turbine montera jusqu'à ce que le servo-moteur ait atteint la position correspondant à la nouvelle charge. Pendant ce temps, le piston 7 conserve sa position maximum et le cylindre du dash-pot 18 ne peut naturellement pas monter davantage. Cependant, sous l'influence de l'augmentation de vitesse permanente, le pointeau 14 continue à monter avec le piston de l'avant-commande 35 et le levier 11 : le piston renfermé dans le dash-pot 18 est alors déplacé vers le haut, comprimant ainsi davantage le ressort supérieur. Mais

Digitized by Google

aussitôt que le nombre de tours du pendule à ressorts diminue, de sorte que le pointeau 14 et, par là, l'avant-commande 35, etc., commencent à choir, le cylindre du dash-pot 18 s'accouple instantanément avec son piston grâce à l'huile y contenue. Cette nouvelle position est figurée en haut et à droite (fig. 4, 5, 6). De ce fait, le piston de la soupape de distribution 7 est ramené à l'instant à sa position moyenne et le mouvement de fermeture est suspendu. Cette interruption se produit ainsi toujours de suite après que le sommet de la courbe de vitesse est dépassé, donc au moment où la position du servo-moteur correspond à la nouvelle charge. Puis,

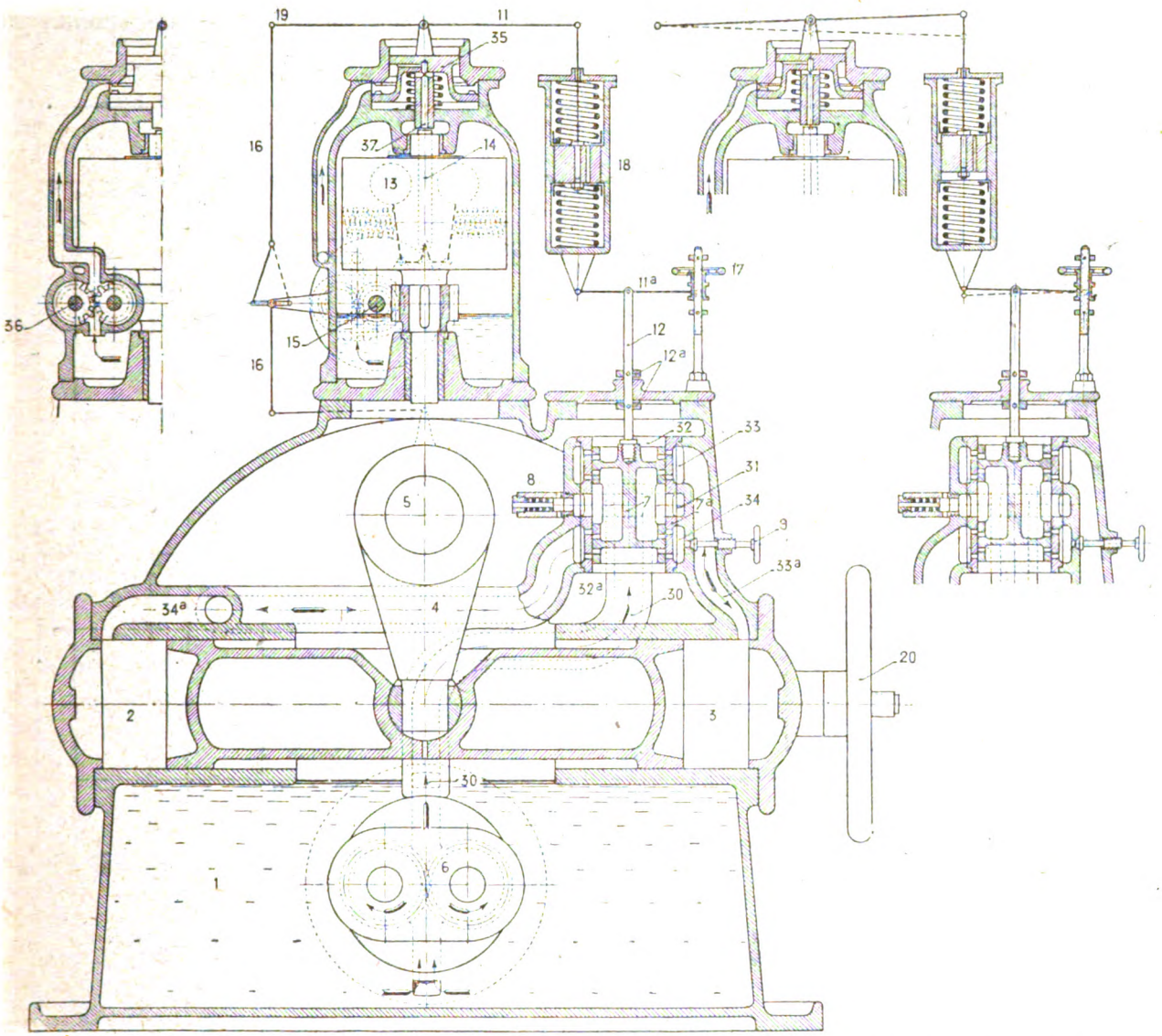


Fig. 4, 5 et 6. — Coupe et détails du nouveau régulateur de la turbine hydraulique Escher-Wyss de 2 500 ch, 500 t : min, installée à l'usine hydro-électrique de Kubel, près Saint-Gall (Suisse).

sous l'influence du ressort supérieur tendu du dash-pot, l'enveloppe de cette dernière est lentement ramenée à sa position moyenne et, par là, est établie la vitesse définitive correspondant à la nouvelle charge.

Si, par contre, le nombre de tours de la turbine tombe au-dessous de la valeur normale par suite d'une surcharge, on assiste aux mêmes opérations s'effectuant dans l'ordre inverse. Dans les deux cas, le mécanisme d'asservissement 16 agit de la manière connue. Il peut à volonté être réglé pour effet positif ou négatif ou réglage isochrone. Dans la position la plus usitée pour turbines attelées à des génératrices à courant triphasé, on donne au mécanisme d'asservissement une faible action positive qui correspond seulement à une partie

Digitized by Google

de la course du pendule, tandis que l'autre partie de cette course est également utilisée, comme on le sait, pour varier la vitesse.

Dans le but d'augmenter la sensibilité, on a adopté un pendule tournant à très grande vitesse et dont les masses d'inertie sont réduites au strict minimum. En outre, le piston pilote hydraulique 35 est monté à proximité immédiate du pendule, ce qui a pour effet de supprimer complètement les coincements et autres irrégularités qui se produisaient avec les mécanismes compliqués utilisés autrefois.

Comme autre avantage de ce nouveau régulateur, mentionnons que toutes les parties rotatives sont disposées à l'intérieur d'un carter, ce qui exclut toute projection d'huile. En outre, le réservoir d'huile est complètement fermé, de sorte qu'aucune impureté n'y peut pénétrer. L'entretien et le contrôle du régulateur s'effectuent d'un seul et même côté, qui est précisément celui

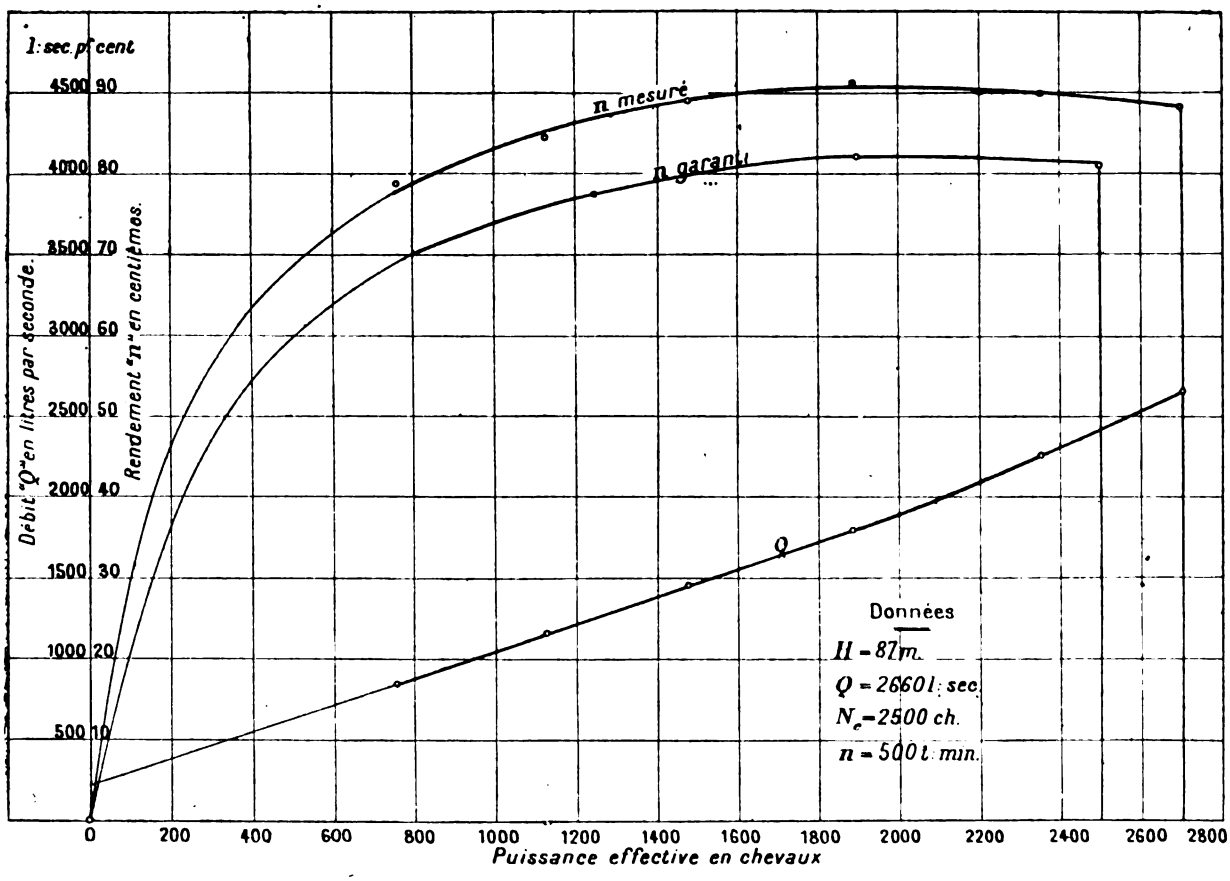


Fig. 7. — Courbes de rendement et de débit de la nouvelle turbine Francis Escher-Wyss installée à l'usine hydroélectrique de Kubel, près Saint-Gall (Suisse).

où se fait la lecture des instruments tels que tachymètre, manomètre et vacuomètre.

Afin de réduire les coups de bélier dans la conduite, la turbine est munie, en outre, d'un appareil de réglage de pression qui, lors de décharges brusques, agit sur un clapet et laisse échapper, par un tuyau de dérivation aboutissant directement au canal de fuite, une quantité d'eau proportionnelle à l'obturation de la turbine. Ce clapet se referme ensuite automatiquement, mais toutefois, grâce à un dash-pot, assez lentement pour éviter tout coup de bélier dangereux dans la conduite.

III. — Les essais de réception, qui eurent lieu du 19 au 22 octobre 1916, donnèrent, tant pour la turbine que pour le régulateur, d'excellents résultats.

La figure 7 donne le graphique des garanties figurant au contrat et des rendements obtenus aux essais. Les débits ont été déterminés de façon exacte au moyen d'un déversoir adéquat avec contraction latérale, monté dans le canal de fuite. La chute nette a été obtenue en additionnant la pression manométrique, la hauteur de chute — à l'endroit du manomètre — correspondant à la vitesse à l'entrée de la turbine et la hauteur d'aspiration entre le milieu du manomètre et le niveau d'eau inférieur.

Digitized by Google

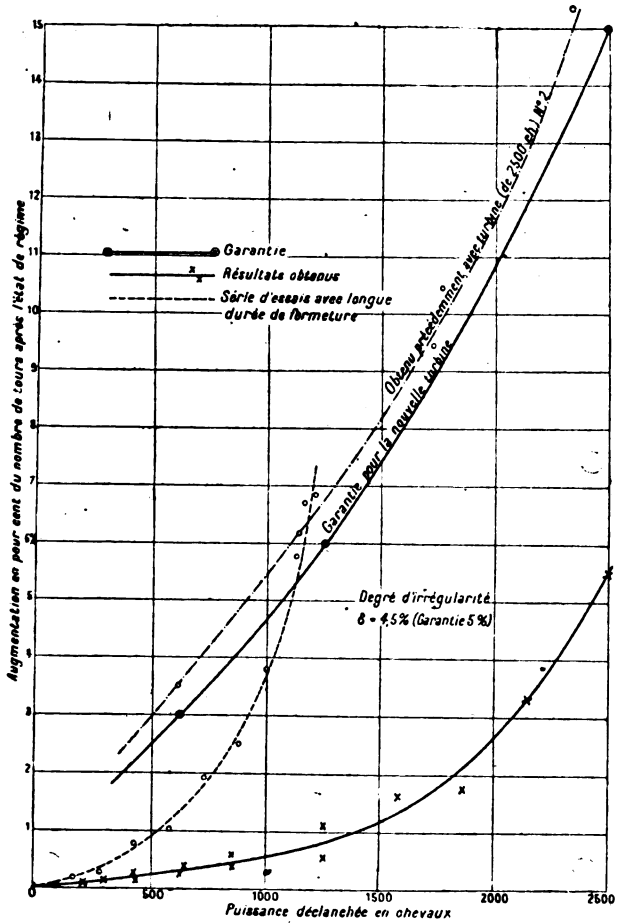


Fig. 8. — Résultats d'essais effectués avec le nouveau régulateur Escher Wyss.

Le fonctionnement du tuyau d'aspiration a été reconnu excellent, car entre la demi et la pleine charge, le vide était plus élevé que la hauteur d'aspiration statique. Il se produit donc dans le tuyau d'aspiration une récupération de la pression. Grâce à cet effet d'aspiration particulièrement avantageux, et au rendement de la roue motrice lui-même déjà très élevé, le rendement total fut excellent et atteignit, à 3/4 de charge, une valeur de 91 pour 100. Il convient aussi de signaler, en passant, la marche absolument douce de la turbine, due aux conditions hydrauliques très favorables obtenues par la disposition en porte-à-faux de la roue motrice, et, conséquemment, la suppression de l'arbre dans le coude d'aspiration.

Les résultats atteints avec le régulateur ont dépassé toute attente. Les variations de vitesse furent minima, notamment lors de faibles variations de charge, de sorte que la nouvelle construction du régulateur a satisfait pleinement à toutes les exigences que l'on était en droit de formuler. La figure 8 montre les chiffres garantis et ceux atteints aux essais pour des décharges allant jusqu'à la puissance totale.

Il nous a enfin paru intéressant de reproduire (fig. 9) deux tachygrammes relevés à l'usine d'Augst de la ville de Bâle dans les conditions suivantes : le premier (A) est relatif à 6 machines pourvues d'anciens régulateurs ; le second (B) se rapporte encore à 6 machines, mais dont une a été pourvue du nouveau régulateur. On voit nettement l'heureuse influence produite par l'appareil que nous avons décrit.

P. V.

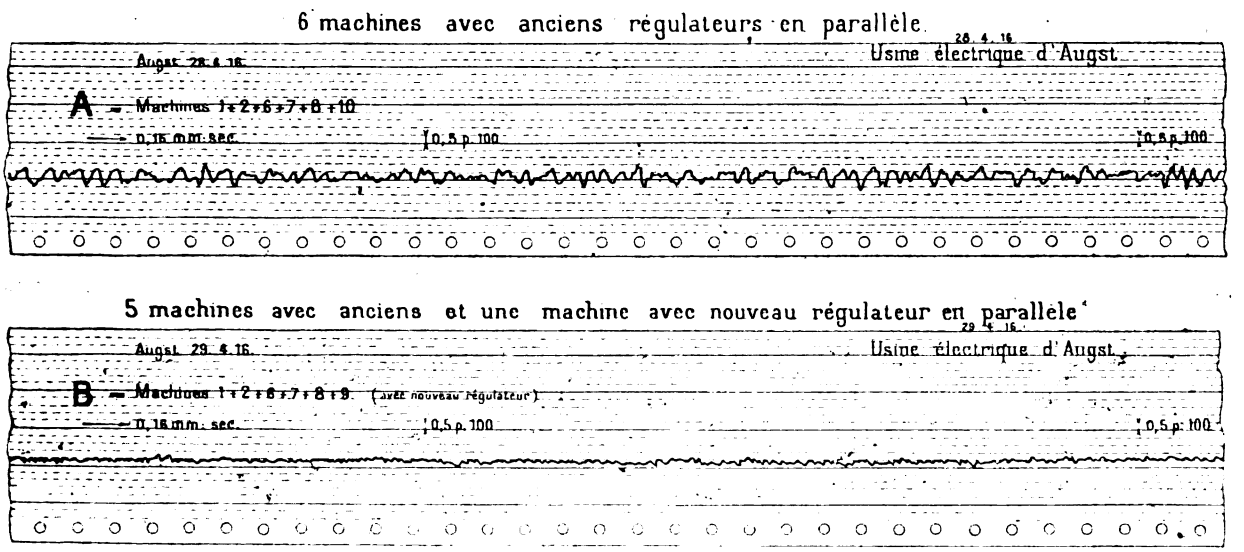


Fig. 9. — Tachygrammes de service de l'usine d'Augst, près de Bâle.

Le tachygramme A indique les fluctuations de la vitesse des machines lorsque six machines avec anciens régulateurs marchent en parallèle ; le tachygramme B illustre la sensible amélioration apportée au régime de la vitesse par le remplacement d'un ancien par un nouveau régulateur, toutes les autres conditions étant absolument identiques. La charge totale était approximativement de 8 000 kw et les à-coups momentanés de 200 à 600 kw. Les tachygrammes ont été tracés par un appareil Horn avec ressorts marquant ± 6 pour 100.

Digitized by Google

Recherche rapide de la tension à laquelle travaille le métal dans les canalisations électriques sous l'action de l'effort de traction

Tous nos lecteurs savent qu'il est très important et même indispensable de connaître la tension mécanique à laquelle sont soumises les lignes aériennes de distribution ou de transport d'énergie électrique, soit lors de la pose, soit sur une ligne existante. L'auteur de la note ci-dessous donne un procédé très pratique pour déterminer cette tension en comptant le nombre de vibrations transversales du fil tendu pendant un temps donné ; il a construit également un abaque permettant de connaître instantanément la tension cherchée en connaissant la portée et le nombre de vibrations.

L'importance de la tension mécanique à laquelle les canalisations électriques sont soumises est bien connue de tous les électriciens.

Cependant, dans nombre d'installations courantes, on ne détermine pas cette tension, soit qu'on ne dispose pas de dynamomètre, soit que l'on évite la peine de faire la mesure de la flèche et le calcul correspondant.

D'autre part, il y a souvent intérêt à vérifier rapidement la tension dans une canalisation existante qui a subi plus ou moins de modifications.

Beaucoup de monteurs de lignes vérifient la tension des fils simplement en tirant dessus. Ils estiment alors s'ils sont assez ou trop tendus d'après l'effort qu'ils ont fourni, en tenant compte à peu près de la grosseur du fil, mais aucun ne saurait dire quelle tension en kilogrammes par millimètre carré travaille le métal, cet essai étant loin de permettre d'en tirer un résultat numérique.

Nous avons donc cherché, sans compliquer l'essai qui précède, à le rendre un peu plus scientifique et surtout à en obtenir une valeur assez approchée de la tension.

Le procédé consiste à compter le nombre de vibrations transversales du fil tendu, dans un temps déterminé.

Il est aisé de voir nettement (1) ces vibrations après avoir excité le fil en l'écartant brusquement de sa position d'équilibre et en l'abandonnant aussitôt.

Connaissant la portée, on en déduit alors la tension du fil.

Les vibrations étant isochrones, on compte le nombre de vibrations doubles pendant un temps quelconque déterminé, 5 ou 10 secondes par exemple.

Ce qu'il importe de connaître, c'est la tension par millimètre carré.

En remarquant que pour les portées des canalisations courantes, la tension est pratiquement la même pour tous les points et que la longueur du fil se confond avec la portée, il est facile de trouver la formule donnant cette tension pour chaque cas intéressant.

Pour un fil en cuivre, par exemple, elle est :

$$t_1 = 0{,}0000364\, n^2 l^2,$$

t_1 étant la tension en kilogrammes par millimètre carré,

n, le nombre de vibrations doubles pendant 10 secondes,

l, la portée en mètres.

Afin d'éviter tout calcul, nous avons traduit cette formule en abaque par points alignés reproduit à la page suivante.

Application. — Pour un fil tendu entre deux poteaux distant de 30 m, on compte 11 vibrations doubles en 10 secondes. Pour connaître la tension du fil, il suffit d'appliquer sur l'abaque une règle ou un fil tendu, que l'on fait passer par les points $l = 30$ m et $n = 11$ pour lire sur la 3e échelle le résultat cherché, soit $t_1 = 4$ kg : mm².

Si on a compté le nombre de vibrations doubles pendant un temps quelconque, ces vibrations étant isochrones, il est aisé d'en déduire le nombre n (correspondant à 10 secondes) qui doit être pris sur l'abaque.

Au moment de la pose de la ligne, cet abaque peut également fournir des indications utiles. Dans ce cas, on connaît la portée l et la tension t_1 ; l'abaque donne alors le nombre n de vibrations doubles pendant 10 secondes ; on fera le tirage du fil de façon qu'il vibre à la fréquence ainsi trouvée.

Des abaques analogues peuvent être tracés pour tous les cas intéressants et il est évident que ce procédé peut être appliqué en dehors des canalisations électriques.

Jean HÉLY,
Ingénieur I. E. G.

(1) A une distance de 1 m environ d'un point d'attache.

Digitized by Google

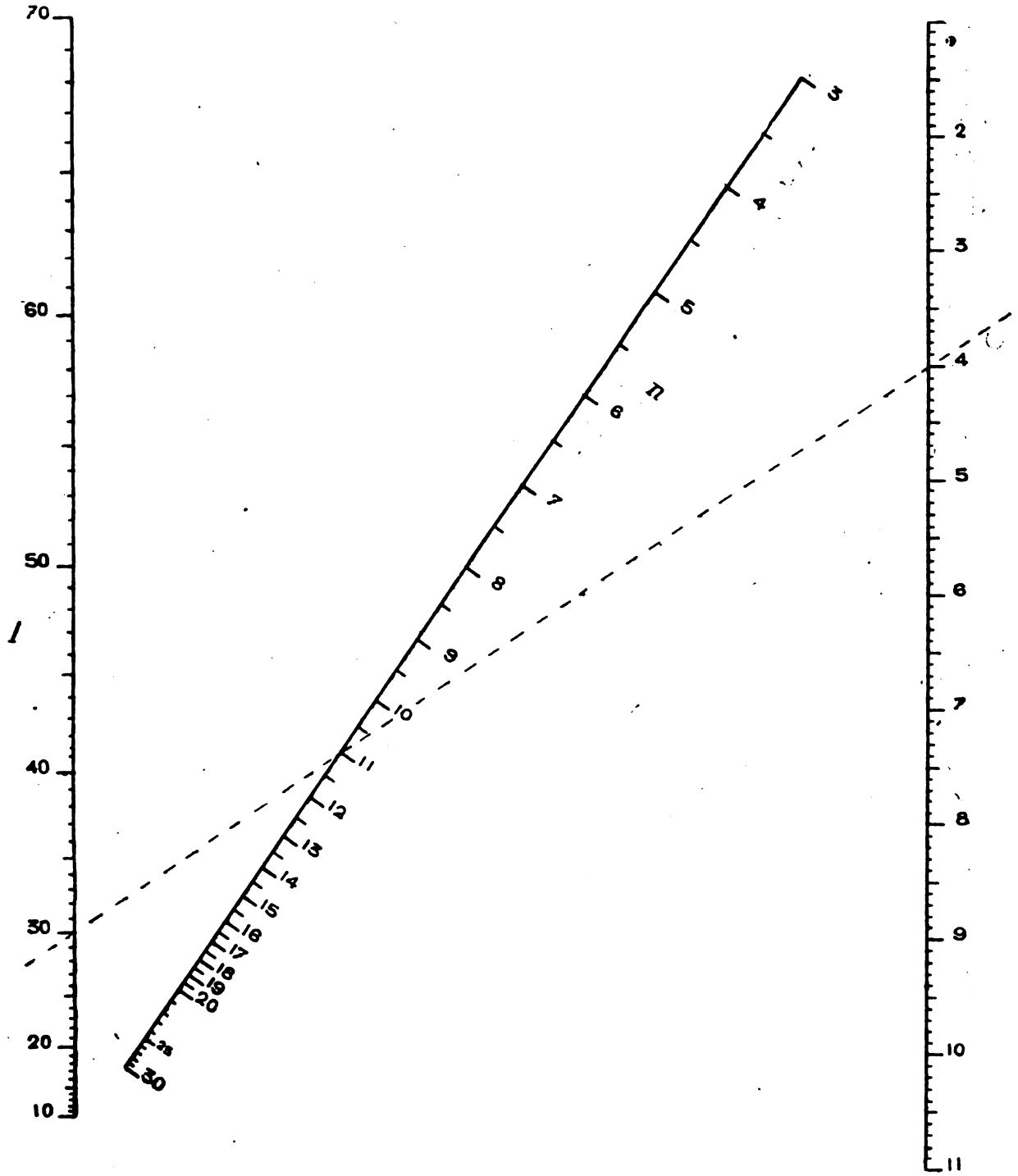


Fig. 1. — Abaque pour la recherche rapide des tensions auxquelles sont soumises les canalisations électriques (fils en cuivre). — l, portée en mètres; t_1, tension en kg : mm^2; n, nombre de vibrations transversales doubles pendant 10 secondes.

Digitized by Google

Sur l'emploi de l'aluminium dans l'industrie de l'électricité

Nous fabriquons l'aluminium par des procédés dus à des savants et ingénieurs français au moyen de l'énergie de nos chutes d'eau et avec les bauxites de notre sol. Il y a un intérêt national à le substituer, partout où c'est possible, au cuivre, que nous devons acheter à l'étranger. Dans l'article ci-dessous, reproduction d'une conférence faite le 7 novembre à la Société française des Electriciens, M. Dusaugey examine quelques-unes des applications qu'il peut recevoir dans l'industrie électrique.

1. **L'industrie électrique et le cuivre.** — La production de l'énergie électrique, sa transformation, son transport à distance, son utilisation sont des opérations qui n'auraient pu passer du domaine scientifique dans le domaine industriel sans la possession d'un métal bon conducteur, d'un poids, d'un volume et d'un prix adéquats aux nécessités techniques et économiques de l'industrie de l'électricité.

Le cuivre a parfaitement répondu à ces nécessités et, comme il laissait loin derrière lui, par ses qualités électriques, mécaniques et économiques, les autres métaux conducteurs, il devint le métal de l'électricité, si bien que les progrès de sa métallurgie sont intimement liés depuis quarante ans au développement considérable des applications de l'électricité.

Le cuivre est malheureusement pour nous un métal d'origine étrangère. Notre production nationale est minime ; elle n'a jamais dépassé 10 à 12 pour 100 de notre consommation. Nous avons donc toujours dû faire un large appel à l'importation.

La consommation annuelle de cuivre, pour l'ensemble de l'industrie française, qui n'était que de quelques milliers de tonnes en 1864, atteignit 50000 t en 1902, 95000 t en 1911, et 103000 t en 1913, à la veille de la guerre. L'importation correspondante, à cette date, fut d'environ 90000 t, représentant, au cours moyen de 85 livres, une valeur d'environ 198 millions de francs. Quelle fut la part de l'industrie électrique dans cette énorme valeur ? Il n'existe pas de document permettant de la connaître exactement, mais un recensement, aussi précis que possible, des fabrications de l'année permet de fixer approximativement cette part à 25 ou 30 pour 100 du total, sans tenir compte des cuivres ouvrés qui rentrent sous forme de machines, transformateurs, appareillage, lustrerie, etc. On peut ainsi évaluer, sur un cours moyen de 60 livres, à plus de 500 millions de francs l'exportation totale de capitaux français nécessitée par le développement de l'industrie électrique dans les vingt-cinq années qui ont précédé la guerre.

Tel est le lourd tribut que nous avons payé à l'étranger pour l'acquisition d'un seul des éléments, le plus important il est vrai, de notre industrie de l'électricité.

Que va devenir ce tribut dans l'avenir et quelles prévisions pouvons-nous faire devant l'étendue des ruines que nous aurons à relever comme devant l'immensité de la tâche qui s'impose à notre activité pour le reclassement de notre industrie dans le monde ? Nos vues sont larges, nos projets magnifiques : nous voulons reprendre industriellement le rang que nos défaillances nous avaient fait perdre ; nous voulons cesser de subir les produits de l'étranger ; nous voulons puiser dans nos ressources nationales tous les éléments que nous laissions sommeiller. Notre richesse hydraulique en particulier sera largement mise en valeur, ne serait-ce que pour économiser notre richesse houillère, si odieusement mutilée par nos ennemis, et c'est partout l'énergie électrique, largement distribuée aux organes mécaniques, à la métallurgie, à la chimie industrielle, à la traction sur voies ferrées et sur canaux, qui sera certainement l'un des principaux facteurs de notre renaissance industrielle.

Ai-je besoin de dire que notre devoir le plus impérieux dans la réalisation d'un tel programme et après la terrible saignée qu'aura subie notre fortune publique, sera d'éviter, jusqu'à la parcimonie, toutes transactions susceptibles d'aggraver encore l'affaiblissement de nos ressources ? En particulier, tous les efforts, jusque dans les affaires les plus modestes, devront tendre à réduire les importations par l'utilisation de plus en plus développée de nos produits nationaux.

Ce devoir s'impose tout spécialement à notre industrie électrique dans la question du cuivre, quand on songe au formidable tonnage de ce métal qu'il va falloir mettre en jeu et aux cours élevés qu'il faudra subir pendant longtemps encore. La méconnaissance de ce devoir serait d'autant plus injustifiée que nous possédons en l'aluminium un succédané du cuivre essentiellement français par ses origines, par les matières premières d'où il est extrait, par les capitaux et par l'énergie qui concourent à sa fabrication. Ce n'est pas la première fois que l'attention des électriciens est attirée sur ce sujet. Déjà au premier Congrès international des Applications de l'Électricité, tenu à Marseille en 1908, nous disions, après avoir exposé les qualités de l'aluminium : « Ce n'est pas simplement une nécessité économique, mais c'est encore un devoir national que de chercher à s'affranchir, dans la plus large mesure possible, de la véritable tyrannie de ce métal étranger qu'est le cuivre. » Notre appel ne fut pas entendu partout puisque ce n'est que dix ans après, sous l'empire des dures nécessités de l'heure, que la question de l'emploi de l'aluminium en électricité est prise en considération par nos groupements syndicaux et par nos sociétés techniques. Mieux vaut tard que jamais ! Il reste encore de la bonne

Digitized by Google

besogne à faire. Au surplus, les applications de l'aluminium n'ont pas cessé pour cela de se développer, et l'aluminium se présente aujourd'hui à nous avec des références nouvelles et l'épreuve de ces dix dernières années. Notre tâche, qui est d'exposer tout le parti qu'on a tiré et qu'on peut tirer de ce métal, s'en trouvera grandement facilitée.

2. **La production et la consommation de l'aluminium avant la guerre.** — Je rappellerai brièvement, Messieurs, que c'est Sainte-Claire Deville qui a établi définitivement les propriétés chimiques et physiques de l'aluminium et que c'est à lui que l'on doit le premier procédé de fabrication industrielle exploité de 1857 à 1886. A cette date, c'est encore au Français Héroult que l'on doit la découverte du procédé de fabrication par électrolyse de l'alumine dissoute dans de la cryolithe en fusion, procédé universellement employé aujourd'hui. L'alumine est elle-même extraite de la bauxite, mélange d'hydrate d'alumine et d'oxydes de fer, dont les gisements les plus importants et les plus appréciés se trouvent dans les départements des Bouches-du-Rhône, de l'Hérault et surtout du Var. Quant à la cryolite, autrefois importée du Groenland, elle est aujourd'hui produite artificiellement dans les usines françaises.

Depuis l'application du procédé Héroult, le prix de vente de l'aluminium est tombé de 75 fr le kilogramme à 7,50 fr en 1892 et à 2,50 fr en 1901, pour remonter à 4,40 fr en 1907 et retomber à 1,50 fr dans les deux ou trois années qui ont précédé la guerre.

Dans le même temps, la production mondiale annuelle passait de 25 t en 1887, à 5000 t (dont 1 200 pour la France) en 1901, à 20000 t (dont 6000 pour la France) en 1910 et 68000 t (dont 18000 pour la France) en 1913.

La production française atteignait donc, à la veille de la guerre, les 27 centièmes environ de la production mondiale, se plaçant au deuxième rang immédiatement après celle des États-Unis. Malheureusement, faute de débouchés en France, plus de la moitié de notre production partait à l'étranger, sous forme de lingots, l'Allemagne en absorbant à elle seule plus de 4500 t pour porter sa consommation annuelle à 16000 t, tandis que la nôtre ne dépassait pas 6000 t.

Constatons aussi que, de 1909 à 1913, alors que notre production passait de 6000 à 18000 t, notre consommation restait sensiblement stationnaire entre 5000 et 6000 t, tandis que la consommation allemande, pendant la même période, pour une production nationale nulle, passait de 8000 à 16000 t.

Sans vouloir affaiblir par un commentaire quelconque l'éloquence de ces chiffres, et sans vouloir récriminer sur des erreurs passées, retenons simplement que l'utilisation par l'industrie française des 12000 t d'aluminium ainsi exportées en lingots avec un bénéfice réduit eût évité l'importation de 24000 t de cuivre électrique, c'est-à-dire l'exportation annuelle de plus de 20 millions d'or français.

Que sera la production de l'aluminium dans l'avenir? Celle de 1917 aurait été de 150000 t. On parle de 250000 t pour l'après-guerre, dont 35000 à 40000 pour la France seule.

Vous voyez, Messieurs, quelle est la mesure du devoir qui s'impose aux industriels français en général et aux électriciens en particulier.

3. **Les débuts de l'aluminium en électricité.** — Les premiers emplois de l'aluminium en électricité datent de vingt-cinq ans environ, mais ce n'est que vers 1898, lorsque son prix de vente fut tombé suffisamment bas par rapport à celui du cuivre, au double de celui-ci, comme nous le verrons plus loin, que son utilisation commença à être plus sérieusement envisagée, en Amérique d'abord, puis en Europe. L'histoire de ses débuts dans l'industrie fut celle de toutes les choses nouvelles. L'aluminium ne fut pas seulement desservi par ses imperfections initiales et par la méconnaissance des procédés de travail et de mise en œuvre adéquats à ses propriétés, mais encore par la résistance de tous ceux que cette innovation venait troubler dans leurs habitudes, dans leurs traditions, dans leurs préjugés et surtout dans leurs intérêts, et il n'a pas échappé à la loi commune qui a frappé le fer quand on a voulu le substituer au bois dans la construction des navires et le cuivre lui-même quand il s'est agi de le substituer au fer dans les premières lignes télégraphiques. MM. Lazare Weiler et Vivarez racontent, dans leur « Traité général des lignes et transmissions électriques », que lorsqu'on construisit, en 1844, une ligne d'essai en fils de cuivre entre Paris et Rouen, un courant d'opinion défavorable se forma aussitôt chez les savants. Arago et Peltier déclarèrent dans la séance de l'Académie des Sciences du 6 janvier 1845, pendant la construction même de la ligne d'essai, que les fils métalliques ne pouvaient pas subir, sans se désagréger, un courant électrique prolongé et, à l'appui de leurs dires, ils citèrent les expériences auxquelles ils s'étaient livrés. Et MM. Lazare Weiler et Vivarez ajoutent : « Ces critiques, jointes à l'ignorance où l'on était, à cette époque, des moyens d'empêcher l'allongement des fils de cuivre, eurent pour conséquence la proscription du cuivre pour les canalisations électriques aériennes. L'emploi du fer se généralisa rapidement et ce ne fut que trente ans plus tard que, les progrès de l'électricité aidant, on envisagea de nouveau, avec succès cette fois-ci, la substitution du cuivre au fer. » On connaît le résultat de cette substitution; le développement des emplois du cuivre dans l'industrie électrique fut tel, à partir de ce moment, que l'étude de la production et de la consommation de ce métal put représenter désormais, suivant l'expression de MM. Lazare Weiler et Vivarez, le « thermomètre des affaires d'électricité ».

Celui qui écrira un jour un traité des lignes et transmissions électriques en aluminium pourrait reproduire presque textuellement ce début historique. Il n'y manquera même pas l'opinion défavorable des académiciens, des savants et même celle des spécialistes puisque MM. Lazare Weiler et Vivarez, eux-mêmes, parlant

Digitized by Google

dans le même ouvrage de l'emploi éventuel de l'aluminium, disaient en 1892 : « C'est à tort qu'on a vu récemment, dans sa légèreté, une qualité qui permettrait un jour de l'employer comme fils de lignes aériennes. On a oublié de mettre, en parallèle de sa légèreté, sa résistance à la rupture très médiocre qui descend à 16 kg : mm² lorsque le métal est écroui. »

Je crois que les auteurs de cette prophétie, ou leurs successeurs, sont bien revenus de cette opinion préconçue, puisqu'on les compte aujourd'hui parmi les plus fervents partisans de l'aluminium.

Quoi qu'il en soit, l'effacement de l'aluminium devant les mécomptes auxquels son emploi donna lieu à l'origine, ne fut pas d'aussi longue durée que celui du cuivre, et cela grâce à l'obstination des producteurs, qui s'acharnèrent à remonter le courant défavorable ainsi créé. Il me semble juste de rendre ici hommage à leurs efforts. Pendant près de quinze ans, ils travaillèrent sans relâche, tant sur le terrain technique, à perfectionner les méthodes de fabrication et d'emploi, que sur le terrain commercial, à vaincre, par des marchés d'une libéralité remarquable, les résistances les plus obstinées et les objections les plus spécieuses. Les producteurs ne se firent pas seulement transformateurs du métal, mais ils n'hésitèrent pas à devenir les entrepreneurs et même parfois les associés de leurs clients. Ces efforts furent loin d'être vains, puisqu'en ces dix dernières années les installations d'aluminium se firent de plus en plus nombreuses, la confiance s'affirma tandis que la critique s'atténuait de plus en plus. Non seulement de très importants réseaux aériens et souterrains, comme ceux de l'Énergie du littoral méditerranéen, de la Société de la vallée du Rhône, de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, de la Compagnie des Chemins de fer d'Orléans, de l'Énergie de la Loire et du Centre, des Chemins de fer Nord-Sud, des Tramways municipaux de Copenhague, des Omnibus et Tramways de Lyon, de la Compagnie générale des Omnibus de Paris, des Chemins de fer vicinaux de Belgique, de la ville de Zurich, de nombreuses compagnies anglaises à Manchester, Bolton, etc..., du Métropolitain de Londres, plusieurs milliers de kilomètres de lignes aériennes aux États-Unis, au Canada, en Norvège, en Allemagne, furent équipés avec de l'aluminium, mais encore on vit des textes administratifs, comme la circulaire du 5 septembre 1900 du ministre des Travaux publics, relative à la traversée des lignes de chemins de fer par des canalisations d'énergie électrique et comme le cahier des charges élaboré par les chemins de fer de l'État en 1913, faire à l'aluminium une place équivalente à celle du cuivre. En 1913, dans leurs nouvelles règles d'établissement des canalisations aériennes, les électriciens allemands, expliquant que la matière normale à employer pour les canalisations aériennes devait être choisie dans le nombre des métaux purs dont les propriétés physiques peuvent être considérées comme parfaitement connues et seulement variables entre d'étroites limites, désignaient le cuivre et l'aluminium comme métaux normaux. Enfin, tout récemment et pendant la guerre, le Comité électrotechnique français a fait entreprendre une série d'essais en vue de définir l'aluminium type, de même que l'Union des Syndicats de l'Électricité a créé, sous la présidence de M. Legouez, une commission de l'aluminium ayant pour mission d'élaborer les conditions d'emploi de ce métal en électricité.

Ne vous semble-t-il pas, Messieurs, que cette liste de références est à elle seule bien suffisante pour consacrer la valeur de l'aluminium comme métal conducteur de l'électricité et pour prouver aux électriciens qu'ils peuvent désormais lui accorder toute leur confiance ? Je pourrais donc arrêter ici cette communication, son but me semblant parfaitement atteint par les conclusions de cet exposé historique. Je vous demanderai cependant la permission de passer devant vous une revue rapide, en elles-mêmes et en comparaison avec celles du cuivre, des propriétés et des méthodes d'emploi qui ont permis à l'aluminium de se créer la place qu'il occupe aujourd'hui, soit sa composition chimique, sa conductibilité, sa résistance mécanique, et d'une façon générale, toutes ses caractéristiques physiques. Le sujet est long et ardu, mais je me bornerai à ses parties essentielles.

4. **Composition chimique de l'aluminium.** — Il n'existe pas de procédés d'affinage de l'aluminium. Celui-ci doit être utilisé de première fusion, tel qu'il sort du four électrolytique, de la « marmite », en termes de métier, dans laquelle il a été produit, et, comme toutes les impuretés contenues dans les matières premières, alumine, cryolithe et fondants divers, et surtout dans les électrodes du four, se retrouvent dans le métal, il convient de n'employer que des matières premières minutieusement purifiées.

La fabrication et la purification de l'alumine constituent par elles-mêmes une importante industrie exploitée principalement à Gardanne par la Société Electrométallurgique française, à Salindres et à Saint-Auban par la Compagnie des Produits chimiques d'Alais et Camargue, à la Barasse par la Société d'Electrochimie et, avant la guerre, à Saint-Louis par la Société suisse de Neuhausen et à Saint-Quentin par la Société des Produits alumineux.

L'emploi de matières premières minutieusement purifiées n'est pas la seule exigence de la fabrication de l'aluminium ; il convient aussi de conduire la fabrication avec des soins spéciaux tendant au maintien parfait de la composition de l'électrolyte et de la température, ni trop haute ni trop basse, du bain, sans lesquels on pourrait craindre soit la production d'électrolyses parasites et la formation de sodium, soit surtout le mélange à l'aluminium fondu, par inversion des densités, de matières non électrolysés ou de scories de fusion. C'est dans ces conditions et dans ces conditions seulement que l'on arrive à produire de l'aluminium commercialement pur, c'est à-dire ne contenant pas plus de 1 pour 100 d'éléments étrangers.

Ces quelques détails, un peu étrangers à notre sujet, n'ont pour but que de vous montrer quelles opérations délicates et coûteuses constituent la fabrication de l'alu-

Digitized by Google

minium pur dans l'état de nos connaissances actuelles, et de combattre l'opinion encore trop souvent répandue que l'aluminium pur est un produit de fabrication facile et d'un prix de revient réduit.

Quant aux impuretés, elles sont constituées, dans les conditions actuelles de fabrication, par le fer, le silicium et l'oxygène avec des traces de carbone et de sodium.

Les premiers insuccès de l'aluminium dans l'industrie de l'électricité se sont traduits, sur les lignes aériennes, par des ruptures spontanées après lesquelles on retrouvait le métal sans striction à la cassure et sans lésion apparente ou bien recouvert de corrosions superficielles et d'efflorescences blanches. Il semble acquis aujourd'hui que, comme dans nombre de réactions chimiques dont la mise en marche est facilitée par la présence de certains éléments étrangers, ces altérations étaient dues soit à la présence du sodium, soit à un défaut d'homogénéité, soit à l'existence simultanée de ces deux causes. Tous les savants qui ont étudié l'aluminium, Ditte, Minet, Moissan, Le Chatelier, ont signalé l'altérabilité du métal impur ou hétérogène, mais le mécanisme de la destruction ne semble pas encore bien connu aujourd'hui. On a cherché à l'expliquer par une cristallisation lente sous l'effet de vibrations prolongées, ou par un simple effet de présence de certaines impuretés, ou par la création de couples locaux s'exerçant, sous l'influence de l'humidité, entre les éléments hétérogènes.

Quoi qu'il en soit, depuis que les producteurs fournissent du métal commercialement pur, on n'a plus à enregistrer de rupture consécutive à une altération physico-chimique. Les conducteurs employés depuis 1902 sont restés intacts même au voisinage des fumées des vapeurs sulfureuses de fours à coke, des émanations chimiques d'usines, des embruns marins des mers les plus diverses, la mer Baltique sur les côtes allemandes, la mer du Nord sur les côtes anglaises, la mer Méditerranée en France, les mers chaudes dans les colonies anglaises. Des échantillons prélevés, après dix ans d'usage, sur une ligne desservant une usine de produits chimiques n'ont pas décelé autre chose qu'une couche d'oxyde au-dessous de laquelle le métal n'avait subi aucune altération.

Ces résultats cadrent bien avec ce que les laboratoires nous avaient appris de la résistance de l'aluminium pur à l'action des acides nitrique, sulfurique, sulfhydrique, du gaz ammoniac, de la vapeur d'eau, du soufre et de ses oxydes, notamment le soufre du caoutchouc vulcanisé et l'acide sulfureux qui attaquent le cuivre s'il n'est pas étamé, et enfin de l'oxygène qui recouvre rapidement l'aluminium d'une mince pellicule d'oxyde fortement adhérente et qui devient un véritable manchon de protection contre les attaques ultérieures. Il n'y a que l'acide chlorhydrique et les solutions alcalines à l'action desquels l'aluminium pur ne résiste pas, mais ce n'est que dans des cas bien rares qu'il y a lieu de se préoccuper de ces actions.

Quelle doit être la teneur maximum en impuretés du métal pour assurer son inaltérabilité ? L'analyse des échantillons qui ont résisté à l'épreuve du temps montre qu'une teneur en éléments étrangers de 1 à 1,25 pour 100 ne peut pas compromettre la stabilité physico-chimique si ces éléments étrangers ne contiennent que les impuretés usuelles, fer, silicium, oxygène, carbone, sodium et si de plus l'oxygène et surtout le sodium ne sont qu'à l'état de traces à peine perceptibles aux réactifs chimiques. Une teneur en impuretés supérieure à 1,25 pour 100 ne pourrait pas être admise pour des usages électriques, parce que, même avec la certitude que l'inaltérabilité ne serait pas encore compromise, la résistivité qui, ainsi que nous le verrons plus loin, croît avec la teneur en impuretés, ne serait plus acceptable, par rapport à celle du cuivre sur le terrain de la concurrence. Dans un autre sens, une pureté de 100 pour 100 ne serait pas davantage acceptable parce que la résistance mécanique de l'aluminium chimiquement pur serait tout à fait insuffisante pour la construction des conducteurs aériens. Il y a donc une teneur en impuretés qui correspond au meilleur métal électrique et qui, dans l'état actuel de la fabrication de l'aluminium, semble être voisine de 1 pour 100.

En Angleterre, où l'emploi de l'aluminium en électricité s'est beaucoup répandu en ces dernières années, surtout dans la fabrication des conducteurs isolés, la teneur en impuretés de l'aluminium électrique dépasse rarement 0,75, avec une conductibilité à 15° C de 60 pour 100 de celle du cuivre étiré dur standard. On estime dans ce pays que, jusqu'à 1 pour 100 d'impuretés, l'aluminium peut partout remplacer avec succès les conducteurs en cuivre. Il est probable que cette question sera très prochainement élucidée chez nous soit par la Commission de l'Union des Syndicats, soit mieux encore par le Comité électrotechnique français qui procéderait à une spécification internationale.

Les alliages d'aluminium n'ont pas encore été employés en électricité et il ne semble pas, pour l'instant du moins, que leur utilisation comme conducteurs d'électricité puisse présenter de l'intérêt en raison de leur conductibilité réduite, Nous devons toutefois faire exception pour le *duralumin*, alliage d'aluminium, de cuivre et de magnésium, dont la conductibilité n'est pas supérieure à 50 pour 100 de celle du cuivre pur, mais dont la dureté et la résistance mécanique dépassent le double de celles de l'aluminium pur. Ces propriétés, qui sont acquises, on le sait, par un traitement à chaud analogue à la trempe de l'acier, pourront être mises à profit dans la construction de certaines pièces d'appareillage et de machines, comme les interrupteurs, les lames de collecteur, etc., qui exigent plus de dureté que de conductibilité.

Disons ici que nos connaissances des alliages d'aluminium et de leurs propriétés sont encore des plus sommaires. On a déjà pu constater que l'action de présence du fer, du silicium et du carbone était extrêmement différente suivant leur teneur relative. On soupçonne déjà que ces corps peuvent, en proportions convenables, avoir dans l'aluminium une influence aussi considérable que les traces de carbone, silicium, manganèse, etc.,

Digitized by Google

que l'on introduit dans le fer pour constituer des aciers de qualités spéciales. Il y a là tout un domaine de science industrielle à explorer. Je souhaite que les aluministes français, mettant à profit les précieuses ressources de la chimie physique, favorisent et au besoin suscitent des recherches dans ce sens, avec le désir, non seulement de maintenir aux produits français la supériorité que leur imposent des antécédents glorieux, mais encore de créer les produits nouveaux dont on soupçonne les possibilités.

5. **Propriétés physiques et mécaniques de l'aluminium.** — Bien que les caractéristiques physiques et mécaniques de l'aluminium aient été souvent publiées, je rappellerai cependant, pour que cet exposé soit complet, que sa densité, 2,72 pour le métal laminé est égale aux $\frac{30}{100}$ de celle du cuivre, que son coefficient de dilatation linéaire $24{,}5 \times 10^{-6}$ est de 40 pour 100 supérieur à celui du cuivre, que sa conductibilité calorifique est la moitié environ de celle du cuivre, que sa chaleur spécifique est 2,5 fois celle du cuivre, enfin que son point de fusion est à 650°, celui du cuivre étant à 1 085°. Sa dureté est environ la moitié de celle du cuivre, tandis que la dureté du duralumin trempé est supérieure à celle du cuivre dur.

Quant à la malléabilité et à la ductilité de l'aluminium, elles sont telles que ce métal peut être forgé, laminé, étiré, embouti ou estampé avec la plus grande facilité, toutes ces opérations étant faites, sinon par le même processus que pour le cuivre, du moins avec le même appareillage. C'est ainsi que l'on fabrique des douilles et culots de lampe, des supports de balais, des abat-jour, des pièces d'appareillage. C'est ainsi que l'on fabrique aussi des feuilles extra-minces et des fils presque aussi ténus que ceux d'or et d'argent.

Les constantes mécaniques proprement dites de l'aluminium, c'est-à-dire la charge de rupture, l'allongement élastique, la striction, la limite d'élasticité, le module d'élasticité, sont, comme pour les autres métaux, considérablement modifiées par l'écrouissage et le recuit, c'est-à-dire par le travail du métal. On sait que l'introduction de méthodes rationnelles dans le travail des aciers, du cuivre, du laiton, a permis d'améliorer à un haut degré les produits obtenus. Il semble que, pour l'aluminium, on puisse éviter les complications d'un travail minutieux, car les propriétés mécaniques et la constitution physico-chimique du métal écroui seraient, pour un écrouissage final donné, absolument indépendantes des procédés de travail employés pour réduire la section de la pièce primitive, c'est-à-dire pour l'écrouir. Ce fait, assez surprenant à première vue, trouve son explication dans la grande malléabilité du métal.

Le maximum d'écrouissage, pour un fil de 2 mm de diamètre, par exemple, est obtenu en partant d'un fil recuit de 8 mm, c'est-à-dire en réduisant la section au $\frac{1}{10}$ de sa valeur primitive. Cette réduction est obtenue par le passage à *froid* dans cinq ou six filières de sections décroissantes.

A ce moment, les constantes mécaniques ont les valeurs suivantes : charge de rupture, 20 à 22 kg : mm² au lieu de 40-42 pour le cuivre; allongement à la rupture, 1,5 à 2 pour 100; module d'élasticité, 6 750 kg : mm² au lieu de 12800 pour le cuivre; limite d'élasticité, 14 à 15 kg : mm². Ce métal peut, en outre, subir trois pliages et dépliages autour de son propre diamètre. Ce sont ces constantes que l'on cherche à réaliser pour les fils entrant dans la composition des câbles de lignes aériennes et pour lesquels on obtient pratiquement une charge de rupture de 20 à 22 kg : mm² jusqu'à un diamètre de 4/10 et de 18 à 20 kg : mm² jusqu'à 60 10.

Il est bon d'indiquer que ces charges de rupture correspondent à du métal contenant environ 1 pour 100 d'impuretés et présentant à l'état de recuit une charge de rupture de 9 kg : mm². Avec du métal plus impur, la charge de rupture pourrait atteindre 12 kg : mm² à l'état recuit et 29 kg : mm² à l'état écroui, mais alors la conductibilité électrique tomberait à une valeur inadmissible.

La connaissance de ces propriétés physiques et mécaniques permet de solutionner facilement le problème des conducteurs suspendus en aluminium, c'est-à-dire de calculer les flèches à donner pour que, dans des conditions de surcharges déterminées, le travail du métal ne dépasse pas une valeur fixée. La méthode, aujourd'hui universellement connue, que M. Blondel a mise à la disposition des électriciens et les abaques établis, d'après cette méthode, par différents auteurs, simplifient considérablement ce problème. Que résulte-t-il de la comparaison des résultats ainsi obtenus pour le cuivre et pour l'aluminium? Cette comparaison montre que, malgré sa faible résistance mécanique, mais en raison de sa densité inférieure et de son élasticité plus grande, un conducteur suspendu en aluminium, soumis à son poids seul, travaille sous la même portée et la même flèche, avec une sécurité de 65 pour 100 supérieure à celle d'un conducteur en cuivre, que, à égalité de fatigue et de flèche, la portée de l'aluminium pourra être de 30 pour 100 supérieure à la portée du cuivre et enfin que, à égalité de portée et de fatigue, la flèche de l'aluminium ne sera que les $\frac{60}{100}$ de la flèche du cuivre.

Si, à côté de ces résultats théoriques, on établit la comparaison en tenant compte des variations de température et des surcharges extérieures dues au vent, à la neige ou au verglas, on voit que si l'on tend, sur des portées égales et avec le même coefficient de sécurité dans les conditions de travail maximum, deux lignes équivalentes au point de vue de la conductibilité (c'est-à-dire, comme nous le verrons plus loin, deux lignes dont celle d'aluminium présente une section de 66 pour 100 et un diamètre de 30 pour 100 plus élevé que celle de cuivre) la flèche, au moment de la température maximum, sera plus grande pour l'aluminium que pour le cuivre. On voit aussi que l'aluminium est plus sensible aux variations de température et à l'influence du vent, de sorte que, sous l'effort d'un vent déterminé, le dépla-

Digitized by Google

cement latéral d'un conducteur d'aluminium sera supérieur à celui d'un conducteur de cuivre. On voit enfin que, sous l'action d'une surface d'une surcharge exceptionnelle, la limite d'élasticité au delà de laquelle le métal est définitivement compromis sera moins vite atteinte avec l'aluminium qu'avec le cuivre.

Je m'arrête à ces considérations qui sont les seules, les deux premières du moins, qui influent sur l'économie des lignes puisque, pour des portées égales, elles entraînent l'emploi de supports de dimensions un peu plus grandes pour l'aluminium que pour le cuivre, mais je m'empresse d'ajouter que ce désavantage n'existe pas pratiquement jusqu'à 80 m ou 100 m de portée, car jusque-là les différences de flèches ne dépassent pas 60 cm et sont trop faibles pour nécessiter l'emploi de supports différents. Pour ces lignes, qui sont les plus fréquentes, l'installation bénéficie donc de toute l'économie réalisée sur le métal. Au delà de 100 m, l'augmentation de poids des pylônes reste encore très faible et ne dépasse pas 5 à 6 pour 100 pour une ligne à trois fils de 100 mm² d'aluminium correspondant à 60 mm² de cuivre. En faisant varier le nombre des conducteurs, leur écartement et le type des supports, le dépassement reste toujours inférieur à 10 pour 100. C'est le maximum d'influence sur l'économie brute réalisée sur le métal des conducteurs.

On a prétendu, toujours dans le même ordre d'idées, que les conducteurs d'aluminium, en raison de leur plus grand diamètre, prenaient, par mètre courant, une charge de verglas supérieure à celle des conducteurs équivalents de cuivre. De nombreuses constatations, faites tant en Europe qu'en Amérique, d'ailleurs justifiées par la porosité beaucoup plus grande de l'aluminium qui facilite l'absorption des corps gras avec lesquels il est manipulé et qui lui donne un épiderme un peu savonneux, prouveraient le contraire. J'ai moi-même constaté des ruptures de lignes de cuivre sous le poids de la neige, à côté de lignes d'aluminium demeurées indemnes. Mais, dans le doute, en admettant même que les conducteurs se chargent d'un poids de verglas proportionnel à leur section et en faisant entrer dans le calcul les efforts correspondants, ce qui conduirait à une augmentation de la flèche de l'aluminium et par conséquent de la hauteur et du poids des pylônes, le calcul montre que cette augmentation de poids serait encore de l'ordre de 5 à 6 pour 100.

On a aussi prétendu que les conducteurs d'aluminium fondaient beaucoup plus rapidement que ceux de cuivre quand ils étaient échauffés par un arc électrique, soit sur la tête d'un isolateur fêlé, soit au contact d'une branche d'arbre. Sans parler du peu d'intérêt que présente le temps de fusion d'un conducteur soumis à un accident de ce genre et, par conséquent, voué à la rupture, j'ai cependant voulu vérifier expérimentalement cette assertion en soumettant des conducteurs équivalents à des arcs électriques identiques et dans des conditions de travail identiques ; les expériences ainsi conduites ont démontré que les conducteurs d'aluminium, en raison de leur surface de refroidissement plus grande, se rompaient toujours plus lentement que ceux de cuivre.

Avant de terminer ce chapitre des propriétés mécaniques, je signalerai que si l'on craint une défaillance ou une infériorité économique de l'aluminium dans les cas particuliers de portées exceptionnelles ou de climats très rigoureux, pouvant donner lieu à des surcharges excessives, on peut recourir à l'emploi des câbles mixtes composés d'un ou plusieurs torons d'aluminium sur une âme en acier. Il existe déjà en Europe et aux États-Unis plusieurs lignes ainsi construites qui donnent entière satisfaction. On estime même dans ce dernier pays que ce système est recommandable même dans les petites portées. J'ai moi-même fait exécuter des câbles de ce genre, par les Tréfileries du Havre, pour la construction d'une ligne à 60000 v qui franchit le massif de Belledonne, dans l'Isère, à l'altitude de 2000 m. L'un de ces câbles, de 95 mm² de section utile d'aluminium, est formé de six fils de 40/10 toronnés sur un fil d'acier dur et galvanisé de même diamètre. Sa charge de rupture est de 2270 kg, alors que la charge de rupture du cuivre équivalent serait de 1940 kg. Ces conducteurs, tendus avec une flèche de 1,50 m à la température de + 10° C, travaillent à la limite d'élasticité sous une charge de glace de 9 kg par mètre courant et sur une portée de 70 m et avec un coefficient de sécurité encore égal à 3 pour une charge de glace de 2 kg par mètre courant à la température de — 20° C. On voit donc quel intéressant parti on peut tirer de ces câbles mixtes, puisque leurs flèches maxima sont plus petites que celles des conducteurs de cuivre équivalents. Dans le calcul, au point de vue électrique, on ne tient pas compte de la conductibilité de l'âme d'acier. Au point de vue mécanique, on peut compter pour la limite d'élasticité 2,5 fois celle de l'aluminium équivalent et 1,5 fois celle du cuivre équivalent. Le poids par mètre courant est égal aux 71 centièmes du poids de cuivre équivalent et aux 150 centièmes du poids de l'aluminium équivalent.

L'expérience de plusieurs années et le résultat des essais exécutés sur des échantillons de ces câbles mixtes montrent que les craintes que l'on pouvait avoir au sujet de la conservation des métaux en présence ne sont pas fondées. On peut donc affirmer que la solution mécanique des lignes aériennes en aluminium est parfaitement acquise dans tous les cas.

6. **Propriétés électriques de l'aluminium.** — Les essais les plus récents, effectués sous la direction du Comité électrotechnique français, ont donné, pour l'aluminium tréfilé, à la teneur de 99,5 pour 100, une résistivité de 2,93 microhm-centimètre à 20° C, avec un coefficient de température α égal à 0,004 et β égal à 0,0037. Nous avons déjà eu l'occasion de dire que la conductibilité électrique était fonction du degré de pureté du métal. On peut compter sur 59,75 pour 100 de la conductibilité du cuivre dur industriel pour du métal à 99 pour cent d'aluminium, et sur 60 pour 100 pour du métal à 99,3. Si nous rappelons ici la relation

Digitized by Google

qui existe entre le degré de pureté et la résistance à la rupture, nous voyons que la connaissance d'un seul de ces éléments donnera, sinon la valeur des deux autres, du moins une approximation industriellement suffisante. Aussi, a-t-on proposé, pour effectuer la réception d'un lot de conducteurs d'aluminium, d'effectuer un simple essai de traction sur un fil préalablement recuit. Si l'essai indique une charge de rupture supérieure à 9 kg : mm², c'est que la teneur en aluminium est inférieure à 99 pour 100 et que, par conséquent, sa conductibilité est inférieure à 59,5 pour 100. Le métal devra donc être rejeté comme conducteur électrique.

La considération simultanée des conductibilités et des poids du cuivre dur et de l'aluminium dur montre que le poids d'un conducteur d'aluminium est sensiblement la moitié de celui du conducteur de cuivre de même conductibilité, que sa section est d'environ 67 pour 100 et son diamètre d'environ 30 pour 100 supérieur.

On voit que les dimensions des conducteurs d'aluminium, si elles sont augmentées par rapport à celles des conducteurs de cuivre équivalents, ne sont jamais prohibitives, que leur emploi n'apporte aucune modification essentielle à l'appareillage et aux dispositions que nous avons l'habitude d'employer et que l'aspect des installations n'est pas modifié.

Cette différence dans le volume des conducteurs n'introduit des modifications appréciables que dans des constantes électriques des lignes d'aluminium constituées, modifications qui sont d'ailleurs en majorité à l'avantage de l'aluminium et que j'énumérerai brièvement.

Dans un circuit d'aluminium de même conductibilité et de même forme qu'un circuit de cuivre : (*a*) la répartition du courant alternatif dans l'épaisseur du conducteur est un peu meilleure, l'effet Kelvin étant d'autant plus sensible que la résistance linéaire est moindre. Pour le même motif, l'intensité des courants de Foucault se trouve réduite ; (*b*) l'intensité du champ électrique à la surface du conducteur est sensiblement moindre ; (*c*) le coefficient de self-induction du circuit est moindre ; (*d*) la capacité électrostatique est plus élevée ; (*e*) enfin, l'échauffement par effet Joule ou par courants de Foucault est moindre, en raison de la plus grande surface refroidissante.

De ces avantages, deux surtout sont à retenir comme ayant des conséquences économiques appréciables que j'indiquerai sans les chiffrer :

1° A la diminution du champ électrique superficiel correspond une amélioration sensible de l'effet de couronne dans les conducteurs nus des réseaux à haute tension et une moindre fatigue de l'isolant dans les conducteurs isolés. Cela se traduira, dans le premier cas, par un rendement de la ligne tellement meilleur que l'aluminium arrive à s'imposer dans les lignes à plus de 100 000 v ; dans le deuxième cas, une certaine économie d'isolant pourra être réalisée sous la réserve toutefois que le souci de ne pas augmenter la capacité du câble n'oblige pas à maintenir un certain rapport entre l'épaisseur de l'isolant et le rayon du conducteur.

2° La diminution de l'échauffement a des conséquences importantes dans les lignes à haute intensité. On peut en effet admettre, comme résultat moyen acquis à ce jour, que, pour des conducteurs d'aluminium et de cuivre de même forme et placés dans les mêmes conductions de refroidissement :

a) S'ils ont même section, l'échauffement sera le même lorsque la densité de courant dans l'aluminium sera les trois quarts de la densité de courant dans le cuivre ;

b) S'ils ont même conductibilité (c'est-à-dire $S_{Al} = 1{,}67\ S_{Cu}$) l'échauffement du conducteur d'aluminium, sous le passage d'un même courant, sera de 25 pour 100 inférieur à l'échauffement du conducteur de cuivre ;

c) Enfin pour que les deux conducteurs subissent le même échauffement sous le passage du même courant, il faut que la section de l'aluminium soit égale à 1,4 fois la section du cuivre.

On voit donc que partout où la question d'échauffement sera seule en jeu, l'importance de la chute de tension étant indifférente, ce qui est le cas de nombreuses connexions nues, isolées ou armées dans les tableaux et entre les appareils, le conducteur en cuivre pourra être remplacé par un conducteur d'aluminium de section de 40 pour 100 seulement plus élevée, c'est-à-dire ne pesant que les $\frac{43}{100}$ du poids du conducteur en cuivre.

On voit également que les conducteurs d'aluminium, et cela est surtout important pour les conducteurs isolés ou armés, pourront supporter, avec des risques moindres, des surcharges supérieures à celles des conducteurs de cuivre.

Ces remarques démontrent la nécessité de compléter le plus tôt possible, et je suggérerai même l'idée d'en profiter pour la reviser, la réglementation déjà établie par l'Union des Syndicats de l'Électricité pour la fixation des densités maxima du courant dans les conducteurs de différentes sections, nus, isolés et armés en cuivre et en aluminium.

(*A suivre*).

E. Dusaugey,
Ingénieur civil des Mines.

Digitized by Google

Considérations sur le rendement dans les installations électriques

Dans un moment où les questions de rendement des appareils industriels prennent une telle importance du fait de la valeur si élevée des combustibles, cette note récapitule d'après un discours récent les progrès qui viennent d'être réalisés dans ce sens et signale les points encore perfectibles devant attirer l'attention des ingénieurs.

Dans un discours prononcé le 26 juin 1918, à l'ouverture du 24e Congrès annuel de l'American Institute of Electrical Engineers (1), M. Rice, président de cet institut, fait ressortir les progrès récents de l'industrie électrique aux Etats-Unis et est amené à examiner de très près la question du rendement du matériel électrique. Il constate que dans certains cas ce rendement atteint des valeurs si élevées que les progrès dans ces directions sont actuellement lents et minimes.

Le rendement de la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique et de la transformation inverse est d'environ 90 pour 100 en moyenne dans les conditions pratiques de fonctionnement ; il atteint 97 à 98 pour 100 dans les cas les plus favorables avec de grandes unités et peut s'abaisser un peu au-dessous de 90 pour 100 pour les petites unités.

Le rendement de la transformation de l'électricité d'un potentiel élevé à un potentiel inférieur, base de tout système de transport d'énergie par l'électricité, atteint aussi 98 pour 100.

Il est évident qu'avec une telle perfection pratique, on ne peut plus guère attendre là de progrès matériels importants.

La transformation de la puissance mécanique des chutes d'eau en énergie électrique par les turbines à eau et les génératrices électriques atteint 87 à 90 pour 100 avec les très grosses unités, c'est aussi la limite que l'on puisse prévoir.

Dans le domaine des machines thermodynamiques, représentées surtout par les turbo-alternateurs, de grands perfectionnements ont été réalisés pendant ces dernières années.

Ces améliorations ont été obtenues en observant de plus près dans la construction les règles théoriques qui ont permis d'améliorer plusieurs détails et de réduire ou supprimer diverses pertes (profils des ailettes et des directrices, réduction des jeux, calorifuge des enveloppes, etc.).

La pression et la température initiales de la vapeur ont été augmentées dans des chaudières mieux étudiées et la pression terminale dans le condenseur a été abaissée par de meilleures dispositions de ce condenseur, l'adoption de pompes à air perfectionnées et d'éjecteurs-extracteurs d'air. L'intervalle de température ainsi utilisé augmentant, il en résulte une meilleure utilisation thermique.

Concurremment avec cette amélioration des machines turbo-électriques de grands progrès ont été réalisés dans la construction et le fonctionnement des générateurs à vapeur et des dispositifs auxiliaires des stations centrales modernes et il en est résulté une augmentation rapide du rendement thermique global qui est le rapport de l'énergie totale produite par la centrale à l'énergie totale du combustible brûlé. Ce rendement tient donc compte de toutes les pertes depuis l'entrée du combustible dans l'usine jusqu'aux interrupteurs des feeders de départ.

C'est ce coefficient de rendement qui est finalement pour l'ingénieur électricien la plus importante mesure du progrès. M. Rice donne les chiffres suivants mettant en relief l'amélioration de rendement obtenue depuis 1903, date de l'installation aux Etats-Unis du premier groupe turbo de 5 000 kw.

Années.	Puissance des unités en kw.	Rendement thermique global en pour 100.
1903	5 000	10,15
1908	14 000	15
1913	20 000	18
1917-18	35 000	21,6

A titre de comparaison, les groupes avec grands moteurs à gaz d'aciéries atteignent dans les meilleures conditions un rendement de 25 pour 100, mais dépassent en général rarement 18 à 20 pour 100.

Les groupes électrogènes avec moteurs Diesel réalisent au début un rendement de 25 à 26 pour 100, mais se maintiennent difficilement à ce chiffre.

Les hauts rendements obtenus dans les groupes turbo-alternateurs ne sont atteints dans aucune autre branche de la construction mécanique. M. Rice fait également remarquer que ces résultats ainsi que le développement de la turbine à vapeur sont bien dus presque entièrement aux ingénieurs électriciens qui étaient familiers avec les avantages des machines rotatives et prévenus en leur faveur.

Tandis que le rendement des machines électriques a atteint depuis quelques années ces valeurs élevées, les électriciens savent qu'il y a encore une grande marge pour le progrès dans la transmission et l'utilisation de l'énergie électrique.

C'est que, quand on passe de l'appareil unitaire à un système de production et de distribution électrique, l'élément temps intervient comme facteur important, car s'il est bien vrai qu'il ne peut exister de système à rendement maximum sans unités à rendement maximum, par contre des unités individuelles ayant atteint le plus haut rendement peuvent former un système à faible rendement si elles sont mal utilisées.

La conception du rendement ne doit donc pas être limitée à une considération du rapport entre les valeurs instantanées des unités calorifiques du charbon et des unités électriques aux points de consommation, mais il faut généralement considérer la relation entre le nombre total d'unités calorifiques dans le combustible consommé pendant un

(1) *Proc. of the Amer. Inst. of Electr. Eng*, août 1918, t. XXXII, n° 8, p. 999.

Digitized by Google

temps donné qui peut être : l'heure, la journée, le mois ou l'année suivant le cas, et le nombre total d'unités électriques produites dans le même temps.

Pour améliorer le rendement ainsi conçu, il est indispensable d'utiliser pendant le maximum de temps possible les unités génératrices et les systèmes de transmission et de distribution. On a été conduit ainsi à l'étude des facteurs de charge des générateurs, des stations et du système considéré dans son ensemble, du facteur de diversité, à la réduction des pertes constantes ou à vide dans les machines, à l'amélioration du cos φ dans les systèmes à courant alternatif, etc.

L'amélioration a surtout été réalisée du fait de la remarque que l'élimination des pertes à faible charge augmente beaucoup le rendement total. C'est ainsi qu'on a été amené à l'installation des stations et sous-stations à mise en marche et arrêt automatiques suivant la charge du réseau, à la connexion des centrales et réseaux soit des mêmes systèmes de distribution, soit même de systèmes différents. Il en résulte, du fait de la meilleure utilisation du matériel, d'abord une diminution de la quantité du combustible brûlé par unité électrique utilisée et aussi réduction du coût de fonctionnement et du capital investi dans les machines de réserve et augmentation de sécurité du service. Il y a encore dans ce domaine de très grands perfectionnements à réaliser.

M. Rice cite quelques exemples intéressants où ces méthodes et dispositifs ont été adoptés aux Etats-Unis pour améliorer l'économie et le rendement des stations et réseaux de distribution. Nous avons également en France de très nombreux exemples de ce genre où plusieurs installations utilisent successivement le même courant d'eau quelquefois régularisé en tête par d'immenses lacs-réservoirs qui font alors sentir leur action bienfaisante à l'ensemble de ces usines en série.

Dans d'autres cas, des installations hydro-électriques à régime de montagne sont connectées à des centrales hydro-électriques à régime de plaine, quelquefois même de bassins différents et à des centrales thermiques à vapeur, moteurs à gaz de hauts fourneaux ou de fours à coke, permettant ainsi l'utilisation intégrale de toute la puissance naturelle captée, et cela dans tous les cas, que l'année soit sèche ou pluvieuse dans un ou plusieurs bassins.

Cette interconnexion des réseaux a aussi prouvé combien est flexible et économique l'exploitation d'un système général de transmission de l'énergie par l'électricité en comparaison de toutes les autres méthodes.

M. Rice termine en faisant remarquer que ces résultats magnifiques sont dus à la collaboration et à l'application enthousiaste à leur travail du savant, de l'ingénieur et des exécutants qui, tous, ne se contentent pas de la médiocrité, mais visent toujours au mieux. Les causes d'insuffisance ont été attaquées scientifiquement ; les pertes ont été étudiées et leurs causes découvertes et éliminées. — L. C.

Revues, analyses et informations

A propos de l'avenir de l'industrie électrochimique en Suisse (1).

Les forces hydrauliques de la Suisse ont été aménagées jusqu'ici surtout en vue de distribuer la force et la lumière ; les usines sont établies surtout sur des basses chutes, et, dans certains cas, sur des chutes moyennes ; la plupart n'ont que la puissance strictement nécessaire pour les journées d'hiver les plus chargées. Celles qui alimentent des fabriques ne sont utilisées qu'en semaine et de 8 à 10 heures par jour seulement ; leur coefficient d'utilisation est, par suite, très réduit. On a cherché à y remédier en favorisant l'emploi du chauffage électrique et de la force motrice, mais l'utilisation reste très faible après 10 heures du soir. Les fabrications électrochimiques pourraient résoudre en partie le problème de l'utilisation rationnelle de la force hydraulique.

L'auteur montre l'exemple des installations du bassin de la Limmat près de Baden. Il montre aussi l'intérêt qui s'attache à l'électrification des chemins de fer suisses ; il estime à 500 000 ch la puissance totale nécessaire ; la nuit, une grande partie de l'énergie des installations nécessaires devrait être utilisée pour les fabrications électrochimiques.

L'auteur voit au développement de ces fabrications deux obstacles principaux : le peu d'étendue de la Suisse qui est obligée de chercher au dehors des débouchés à ses produits et le manque du charbon indispensable dans beaucoup de préparations électrochimiques. Il craint aussi la concurrence de l'emploi des charbons inférieurs et du lignite, tel qu'il est pratiqué dans la région du Rhin aux environs de Bonn et dans la Hesse. Le traitement du lignite dans ces pays consiste non pas à le brûler sous des chaudières, mais à le distiller pour en retirer les sous-produits et en extraire le gaz qui sert à la force motrice dans des moteurs spéciaux.

Le lignite natif qui contient de 60 à 65 pour 100 d'eau est d'abord comprimé de façon à n'en plus contenir que 20 pour 100 ; il vaut alors 15 marks la tonne, et possède un pouvoir calorifique de 4 500 calories par kilogramme. Une tonne de lignite fournit 25 kg de sulfate d'ammonium valant 5 marks et 120 kg de goudron valant 7,2 marks. Les sous-produits valent donc presque entièrement le produit. La distillation du goudron produit en outre 5 pour 100 d'huile légère, 10 pour 100 d'huile de paraffine, 30 à 50 pour 100 d'huiles lourdes, 10 à 15 pour 100 de paraffine solide, 3 à 6 pour 100 de paraffine molle, 3 à 5 pour 100 d'asphalte ; tous ces produits augmentent encore la valeur du procédé. D'autre part, une tonne de lignite fournit 1900 m^3 de gaz d'un pouvoir de 1200 calories environ. Par suite, le kilowatt-heure, qui exige environ 6 500 calories, soit 5,4 m^3 de gaz brûlé, revient à 0,005 à 0,01 fr. Il faut d'ailleurs considérer que l'aménagement des chutes d'eau exige une immobilisation de capitaux plus considérable, car une usine marchant au lignite et fournissant 25 millions de kilowatts-heure par an ne demande qu'une mise de fonds de 1 600 000 marks. Quant à la situation des produits électrochimiques eux-mêmes, elle est assez précaire actuellement. Celle du ferro-silicium dont le principal débouché est le bassin rhénan, est concurrencée par les nouvelles installations de la région de Bonn. Il en est de même pour le carbure de calcium. Pour l'acier et les ferros la concurrence est très vive. Les chlorates et l'aluminium sont fabriqués en France dans d'excellentes conditions économiques. Le raffinage électrolytique du cuivre se localise de plus en plus aux Etats-Unis d'Amérique.

Les industriels suisses devront surtout s'orienter vers la production de l'acide azotique par fixation de l'azote de l'air sous l'influence de l'arc électrique, la consommation de cet acide étant considérable en Suisse et sujette à développement pour la fabrication des azotates employés comme engrais. La fabrication du graphite pour les électrodes et les huiles de graissage est aussi une industrie pleine d'avenir pour la Suisse, ainsi que celle du chlore et de la soude. J. C.

(1) Dr F. Winteler. *Schweizerische Bauzeitung*, 9 novembre 1918, t. LXXII, p. 195, 3 000 mots.

Digitized by Google

SECTION DE LÉGISLATION

Sur l'application des articles 12 et 14 de la loi du 29 juin 1918 aux entreprises de distribution d'énergie électrique

A la suite de divergences de vues entre l'Administration de l'Enregistrement et les Sociétés de distribution de gaz, d'énergie électrique, d'air comprimé, etc., sur l'enregistrement des polices d'abonnement et des contrats de location, l'Union des Syndicats a demandé à MM. de la Taste, G. Frénoy et Gaston Mayer d'émettre leur avis sur la question; c'est cet avis qui est publié ci-dessous.

I. — Les articles 12 et 14 de la loi du 29 juin 1918 portent :

« ART. 12. — Doivent être enregistrés dans le délai de trois mois à compter de leur date tous les actes sous seings privés constatant des conventions synallagmatiques, autres que ceux visés par l'article 22 de la loi du 11 juin 1859 qui ne sont pas assujettis par les lois existantes à l'enregistrement dans un délai déterminé... »

» ART. 14. — Les parties qui rédigent un acte sous seings privés soumis à l'enregistrement dans un délai déterminé, soit par l'article 12 de la présente loi, soit par les lois antérieures, devront en établir un double sur papier timbré revêtu des mêmes signatures que l'acte lui-même et qui restera déposé au bureau de l'Enregistrement, lorsque la formalité sera requise. »

Ces dispositions créent ainsi un nouveau régime fiscal pour les actes sous seings privés, qui consiste dans la double nécessité : 1° de l'enregistrement dans le délai de trois mois de tous les actes sous seings privés constatant des conventions synallagmatiques; 2° de l'obligation d'un exemplaire sur timbre qui doit rester déposé au bureau de l'Enregistrement.

Ce nouveau régime s'applique-t-il : 1° aux polices d'abonnement à la fourniture du gaz, de l'électricité ou de l'air comprimé; 2° aux actes dits de location des branchements, colonnes montantes, compteurs, installations intérieures et appareils d'utilisation?

Le régime fiscal nouveau, qui s'applique, en principe, à tous les actes sous seings privés constatant des conventions synallagmatiques, ne comporte qu'une exception : les actes visés par l'article 22 de la loi du 11 juin 1859, c'est-à dire « les marchés et traités réputés actes de commerce par les articles 632, 633 et 634 du Code de Commerce faits ou passés sous signatures privées et donnant lieu aux droits proportionnels suivant l'article 69, paragraphe 3, n° 1 et paragraphe 5, n° 1 de la loi du 22 frimaire an VII ». Ce sont les actes ayant le caractère commercial pour l'une des parties et constituant des adjudications au rabais et marchés, autres que ceux dont le prix doit être payé par l'Etat, les départements, les communes ou établissements publics (loi de frimaire an VII, art. 69, par. 3, n° 1) pour constructions, réparations et entretien et tous autres objets susceptibles d'estimation, faits entre particuliers, qui ne contiennent ni vente, ni promesse de livrer des marchandises, denrées ou objets mobiliers (loi de frimaire an VII, art. 69, par. 3, n° 1). Ce sont aussi les actes d'adjudications, ventes, reventes, cessions, rétrocessions, marchés, traités et tous autres actes, soit civils, soit judiciaires, translatifs de propriété à titre onéreux de meubles, récoltes de l'année sur pied, coupes de bois taillis ou de haute futaie et autres objets mobiliers généralement quelconques (loi de frimaire an VII, art. 69, par. 5, n° 1).

Ces deux catégories d'actes comprennent les marchés de travaux, de louage d'industrie, ainsi que les marchés de fournitures qui ne tombent pas, par suite, sous le régime des articles 12 et 14 de la loi du 29 juin 1918.

II. — Polices d'abonnement à la fourniture du gaz, de l'électricité ou de l'air comprimé.

Ces polices, passées par des entreprises d'éclairage ou de distribution d'énergie, non seulement avec des commerçants, mais aussi avec des particuliers, échappent au régime nouveau de l'enregistrement obligatoire et du triple exemplaire, parce qu'elles sont incontestablement des actes de commerce visés par l'article 22 de la loi du 11 juin 1859. Le ministre des Finances l'a reconnu expressément dans une réponse adressée à une question posée par M. Pierre Masse, député (*Journal officiel* du 8 août 1918, p. 6877).

III. — Location de branchements extérieurs et intérieurs, colonnes montantes, compteurs, installations intérieures et appareils d'utilisation.

L'Administration de l'Enregistrement n'admet pas que l'exception applicable aux polices d'abonnement soit étendue à ce que l'on appelle communément les locations de branchements, etc... Elle prétend établir une distinction entre la police d'abonnement au gaz, à l'électricité ou à l'air comprimé, qui constitue un marché de fourniture compris dans l'énumération de l'article 69, paragraphe 3, n° 1 et paragraphe 5, n° 1, et les dispositions

Digitized by Google

relatives aux branchements, colonnes montantes, compteurs, installations intérieures et appareils d'utilisation qui ne constitueraient que des locations ne rentrant pas dans l'énumération de l'article 69, paragraphe 3, n° 1 et paragraphe 5, n° 1 de la loi de frimaire an VII et ne seraient pas, par suite, comprises dans la catégorie des actes de commerce visés par l'article 22 de la loi du 11 juin 1859.

Cette qualification juridique de « location » ne saurait être appliquée sans distinction à toutes les conventions qui interviennent entre une entreprise de distribution d'éclairage ou de force et son abonné à propos des diverses parties de l'installation entre la canalisation principale et l'extrémité des appareils d'utilisation. Toute installation de lumière ou de force au compteur se divise en deux parties : 1° à partir de la canalisation principale jusqu'au compteur inclus; 2° à partir du compteur jusqu'aux appareils d'utilisation inclus. Au point de vue juridique, les dispositions qui interviennent sous le nom de location, ont des caractères très différents suivant qu'elles concernent la première partie ou la seconde.

A. — A partir de la canalisation principale jusqu'au compteur inclus.

Quel est le caractère juridique des conventions qualifiées de location de branchements, colonnes montantes, compteurs? Nous n'hésitons pas à penser qu'elles doivent être affranchies des obligations nouvelles créées par les articles 12 et 14 de la loi du 29 juin 1918, parce que, par leur nature propre, ces conventions ne sont pas des locations, mais des conventions essentiellement corrélatives à la fourniture de gaz ou d'énergie, dont elles sont inséparables, et participent du caractère du marché de fournitures, qui est celui de la police d'abonnement.

La fourniture de gaz ou d'énergie au compteur est, en droit, une vente à la mesure. La chose fournie, payée, au mètre cube ou au kilowatt-heure, c'est-à-dire suivant la quantité consommée, n'est livrée et mise aux risques de l'abonné qu'après le compteur (art. 1585 du Code civil). Sa livraison même exige nécessairement l'emploi de branchements, de colonnes montantes, l'amenant au lieu de consommation, et d'un appareil de mesurage. Toutes les conventions relatives aux installations qui amènent l'objet fourni jusqu'au compteur inclus, sont des moyens d'exécution de la fourniture et participent nécessairement du caractère juridique du marché; la vente de cet objet absorbe toutes les clauses accessoires que comporte sa réalisation, puisqu'il est inhérent à ces sortes de fournitures que ce ne soit qu'après mesurage que l'agent de lumière ou de force soit approprié par l'abonné. Jusqu'au compteur, c'est le fournisseur qui livre la chose promise ; or l'opération de livraison est une et ne peut pas être divisée en prestations distinctes; toutes les conventions qui concourent à cette opération sont donc, au même titre et à raison de leur égale nécessité, des éléments indivisibles du marché. Ainsi, en droit, le marché ne comprend pas, d'une part, une vente, et d'autre part, des locations, mais un ensemble de prestations qui constituent un tout et ce tout est une vente.

Il n'est même pas juridique de qualifier « prix de location » la redevance mensuelle stipulée pour l'usage du branchement ou du compteur, car la location d'une chose consiste dans la transmission de sa jouissance au locataire, afin qu'il l'utilise lui-même, dans son intérêt personnel. Or, la jouissance du branchement et du compteur n'est pas transférée à l'abonné qui n'est pas mis en possession du branchement et du compteur pour en user à son gré; c'est le fournisseur qui s'en sert dans son intérêt direct, pour effectuer la livraison de l'objet qu'il doit fournir; ces appareils lui sont nécessaires pour accomplir son obligation et, comme c'est lui qui en fait usage et les entretient, ils demeurent à cet effet entre ses mains.

Il suit de là que les redevances mensuelles, qui sont incluses dans les marchés sous le nom de locations, ne sont que des parties du prix de la fourniture; elles font corps avec ce prix, alors même qu'elles sont stipulées par acte séparé de la police d'abonnement. En réalité, le prix du marché se décompose en prix proportionnel au montant de la consommation et diverses redevances fixes rémunérant l'établissement, l'usage et l'entretien par les soins du concessionnaire des instruments de la livraison. On reconnaît sans difficulté que l'entretien du branchement ou du compteur est l'accessoire nécessaire de la fourniture; l'installation et l'usage de ces appareils en vue de la livraison ne sauraient avoir, en droit, un autre caractère.

Et il n'importe qu'en fait le compteur puisse être la propriété de l'abonné ou d'un autre fournisseur que le concessionnaire; en pareil cas, l'intervention de l'abonné dans l'organisation de la fourniture dispense le concessionnaire d'en procurer lui-même les instruments et le prix du marché ne contiendra plus d'élément afférent à l'installation, à l'usage du compteur, mais cette modalité dans le régime de la propriété de l'instrument de mesurage ne change rien à l'unité de l'opération de la fourniture.

Voudrait-on, néanmoins, envisager la stipulation afférente aux branchements et au compteur comme une véritable location au profit de l'abonné, qu'elle ne serait pas davantage atteinte par le régime nouveau des articles 12 et 14 de la loi du 29 juin 1918, à raison de ce qu'elle fait partie intégrante de la convention d'abonnement. La règle de l'article 11 de la loi du 22 frimaire an VII, relative à la perception de droits multiples sur les diverses dispositions d'un acte, ne saurait trouver son application en cette matière, puisqu'elle suppose la coexistence dans un même acte de dispositions distinctes et qu'ici la location ne pourrait pas être tenue pour indépendante du marché de fourniture, puisqu'elle a pour objet son exécution même. Ce n'est même pas là une dépendance que les parties ont créée pour leur commodité; ce n'est pas non plus un mode simplement accessoire de réalisation de la fourniture. La convention relative à l'installation et à l'usage du branchement et du compteur concourt à la formation même du

Digitized by Google

marché et est liée par une corrélation nécessaire à la vente. Elle ne peut pas en être détachée pour donner lieu à une perception particulière.

B) A partir du compteur jusqu'aux appareils d'utilisation inclus.

Si les conventions relatives aux installations intérieures qui ont pour point de départ le compteur et distribuent la lumière ou la force au gré du consommateur ont bien le caractère d'actes de commerce, elles ne concourent pas à la *fourniture*, mais à la *consommation* du produit livré. Elles constituent de véritables locations; elles ne rentrent pas dans l'énumération de l'article 69, paragraphe 3, n° 1 et paragraphe 5, n° 1 de la loi de frimaire et par suite dans l'exception de la loi du 29 juin 1918. Elles sont soumises à la double formalité de l'enregistrement obligatoire et de l'exemplaire sur papier timbré déposé au bureau.

Mais il convient de faire ici deux observations importantes :

D'une part, la loi nouvelle en vigueur depuis le 1er juillet 1918 ne s'applique pas aux conventions qui, étant en cours au moment de sa promulgation, viendront à être prolongées en exécution d'une clause de la police d'abonnement. Le fait générateur de l'impôt est la rédaction d'un acte constatant une convention synallagmatique; ce qui est frappé, c'est l'écrit, non la convention elle-même. Ce droit d'acte ne peut donc être appliqué qu'aux actes postérieurs à la loi. L'instruction n° 3554 du 18 juillet 1918 déclare expressément que la loi est étrangère à tous les actes rédigés avant le 1er juillet 1918. Or, la durée des abonnements peut être prolongée par l'effet de ce que les parties appellent tacite reconduction, en employant à ce sujet une expression inexacte en droit.

Il n'y a tacite reconduction, en matière de bail, qu'au cas où le preneur reste, *en fait*, en possession de la chose louée *malgré* l'expiration de la durée.

Lorsque, au contraire, c'est le contrat lui-même qui a prévu la faculté de prorogation annuelle ou à des époques déterminées, les renouvellements successifs du bail ne sont que l'exécution de la convention originaire et ne donnent pas naissance à des contrats nouveaux.

Ce principe trouve son application en matière de marché, alors que le contrat lui-même, ici la police d'abonnement, contient une clause aux termes de laquelle le marché doit continuer d'année en année jusqu'à la dénonciation par l'une des parties. (Nancy, 9 mai 1896, abonnement téléphonique, *D. P.* 97. 2. 129 — V. Aubry et Rau, *Droit civil*, t. V, par. 369, p. 355). A la fin de chaque période, il ne se forme pas un contrat nouveau, auquel l'acte primitif serait considéré comme devant servir d'instrument et comme, d'autre part, aucun acte n'est rédigé pour constater la prorogation de durée de la police, l'enregistrement n'est pas obligatoire.

La loi nouvelle ne s'appliquerait donc qu'aux actes constatant des conventions prenant cours après le 1er juillet 1918.

D'autre part, pour que les articles 12 et 14 de la loi de 1918 s'appliquent, il faut qu'il y ait un acte constatant une convention synallagmatique. L'acte, ainsi visé par la loi, n'est que l'écrit spécialement dressé pour constituer la preuve littérale de la convention et revêtu de la signature de toutes les parties prenant part à cette convention. Dès lors, des écrits qui, bien que se rapportant à une convention synallagmatique, sont établis dans des conditions telles qu'ils ne comportent pas la signature de toutes les parties intéressées, ne tombent pas sous l'application de la loi. Il en est ainsi des lettres missives échangées entre les parties, qui ne constituent pas un acte au sens de la loi. L'instruction de la Direction générale de l'Enregistrement, en date du 13 juillet 1918, le reconnaît expressément : « C'est là un point, dit-elle, qui a été nettement précisé au cours des travaux préparatoires de la loi ». Une simple lettre de l'abonné peut constater la remise d'appareils en location et porter, de sa part, engagement de payer mensuellement un prix, sans tomber sous l'application des articles 12 et 14 de la loi du 29 juin 1918.

Délibéré à Paris, le 9 décembre 1918.

L. DE LA TASTE,
Avocat à la Cour,
Licencié ès sciences.

Gaston MAYER,
Avocat au Conseil d'Etat
et à la Cour de Cassation.

G. FRENOY,
Avocat au Conseil d'Etat
et à la Cour de Cassation.

Législation, jurisprudence, réglementation

Circulaire relative aux distributions d'énergie électrique empruntant, autrement que par simple traversée, des voies dépendant de la grande voirie et non affectées à la circulation publique.

Le ministre des Travaux publics et des Transports a adressé aux préfets la circulaire suivante en date du 1er septembre 1918 :

Le ministre, à Monsieur le Préfet du département de.....

Aux termes de l'article 8 du décret du 3 avril 1908, dans tous les cas où une distribution publique d'énergie électrique, à établir en vertu de permissions de voirie, doit emprunter, autrement que par une simple traversée, des voies dépendant de la grande voirie et non affectées à la circulation publique, le préfet, avant de statuer, transmet le dossier au Ministre des Travaux publics qui, après examen, lui renvoie ce dossier avec ses instructions.

Cette procédure est motivée par cette circonstance que l'emprunt longitudinal de telles voies ne doit être autorisé qu'à titre exceptionnel, leur destination normale n'étant pas de recevoir des réseaux de distribution publique.

Ce principe vous a été rappelé, pour le cas où la partie du domaine public dont il s'agit est un chemin de fer, par la circulaire ministérielle du 17 mars 1909, qui a, en outre, insisté sur la nécessité de compléter le projet par des indi-

Digitized by Google

cations suffisamment précises sur les dispositions de l'ensemble du réseau pour que le degré d'utilité de l'emprunt puisse être apprécié en haut lieu.

Ces prescriptions conservent toute leur valeur quand la portion du domaine public empruntée est une voie de communication par eau.

Pour qu'elles atteignent leur pleine efficacité, il importe qu'avant que la Direction de qui relève la portion du domaine public empruntée (Direction des Chemins de fer, Direction de la Navigation intérieure et de l'Aménagement des eaux, Direction des Ports maritimes) procède à l'instruction qui est de son ressort, la Direction de la Voirie routière qui, en vertu du décret du 13 novembre 1917, a dans ses attributions les distributions publiques d'énergie électrique, soit appelée, dans chaque espèce, à examiner les renseignements fournis sur l'ensemble de la distribution et à conclure si l'emprunt paraît justifié par des raisons exceptionnelles.

Vous devrez à cet effet, chaque fois qu'il y aura lieu à application de l'article 8 du décret du 5 avril 1908, m'adresser en double exemplaire, sous le timbre de la Direction de la Voirie routière (3e bureau, distributions d'énergie électrique), le projet relatif à l'emprunt, quelle que soit la catégorie du domaine public emprunté (chemins de fer, voies navigables, ports maritimes). Et vous aurez soin d'y joindre le dossier de l'ensemble du réseau qui devra toujours être accompagné de l'avis motivé de l'ingénieur en chef du Contrôle des Distributions d'énergie électrique sur la convenance de l'emprunt.

Je vous prie de m'accuser réception de la présente circulaire dont j'adresse copie aux ingénieurs en chef du Contrôle des distributions d'énergie électrique.

A. Claveille.

Circulaire relative à la commande des poteaux en bois.

Le ministre de l'Armement et des Fabrications de guerre a adressé aux intéressés, le 8 octobre 1918, la circulaire suivante :

Le ministre de l'Armement et des Fabrications de guerre à M...

Poteaux de bois. — J'ai été saisi des difficultés que rencontrent les distributeurs d'énergie pour se procurer soit en France, soit par importation, les poteaux nécessaires à l'entretien et à l'exécution des lignes de transport de force.

Afin d'apporter un remède à cette situation, l'Inspection générale du Service des bois a pris les mesures nécessaires pour faire réserver dans ce but, en France, les poteaux nécessaires à la satisfaction des besoins des distributeurs d'énergie. Mais, étant donné la consommation considérable de bois, il est indispensable de contrôler la répartition des poteaux ainsi réservés.

Dans ce but, toutes les commandes de poteaux pour distributions d'énergie devront être dorénavant soumises au visa du Service des Forces motrices, auquel elles devront parvenir par les soins des différentes Inspections des Forges.

Les commandes établies en trois exemplaires au nom du fournisseur de votre choix, devront indiquer les dimensions des poteaux demandés (longueur et diamètre au sommet), leur prix unitaire sur wagon départ, et préciser d'une manière détaillée l'emploi auquel ils sont destinés, conformément à l'état ci-joint.

Il a été, en outre, décidé que les commandes ne seront attribuées par l'Inspection générale des Bois et transmises pour exécution aux fournisseurs désignés, qu'à charge par ces derniers de ne pas dépasser les prix limites ci-après fixés qui, en principe, resteront valables jusqu'à nouvel ordre.

Longueur. mètres	Diamètre au sommet. centimètres	Prix du poteau injecté sur wagon au départ. francs
6,50	10 à 12	21,50
7,00	10 12	24,00
8,00	10 12	30,00
9,00	11 13	43,00
9,00	13 15	55,00
10,00	12 13	60,00
10,00	13 15	70,00
10,00	15 17	90,00
11,00	12 13	80,00
11,00	13 15	100,00
12,00	12 13	80,00
12,00	13 15	105,00
12,00	15 17	135,00
12,00	17 19	155,00
13,00	13 15	115,00
14,00	13 15	130,00
15,00	13 15	145,00
16,20	13 15	165,00

Il sera donc nécessaire, avant de transmettre les bons aux inspections intéressées, d'y faire porter par le fournisseur que vous aurez choisi l'acceptation de votre commande aux prix fixés aux bons.

Je vous serais obligé, pour éviter les retards dans la livraison des fournitures qui vous seraient nécessaires, de vouloir appliquer dès maintenant le mode de procédure que je viens d'indiquer.

Je vous demande en outre de m'envoyer pour le 15 octobre au plus tard vos prévisions de poteaux de différentes dimensions séparément pour les premier et deuxième trimestres 1919.

Veuillez agréer, Monsieur, l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Par délégation du Ministre de l'Armement :

Le chef d'escadron,
Chef du service des Forces motrices,

H. Cahen.

Cette circulaire est suivie du modèle de commande ci-après :

Commandes de poteaux et mats pour canalisations électriques.

Nom de l'acheteur :
Quantité et dimensions :
Point d'arrivée :
Délai de demande :
Prix :
Utilité de la commande :
Acceptation du fournisseur :
Visa et avis du Service des Forces motrices :
Visa et s'il y a lieu avis de l'Inspection générale des Bois :

Les commandes ainsi formulées devront obligatoirement être adressées par l'intermédiaire de l'Inspection des Forges du Ministère de l'Armement à M. le chef du Service des Forces motrices, 63, avenue des Champs-Elysées, à Paris, qui a charge de les viser pour exécution relatant, s'il y a lieu, l'ordre d'urgence.

Elles seront ensuite remises par le Service des Forces motrices au Service de l'Inspection générale des Bois, 147, rue de Courcelles, qui a charge de les viser pour autorisation d'exécution s'il y a lieu, et de les retourner au fournisseur.

Paris, le 1er octobre 1918.

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF :
Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 2. — 11 JANVIER 1919.

Chronique. — Unification ou normalisation ? — Bibliographie : Les projecteurs de campagne, par Gaston BRETON, p. 41-42.

Section scientifique et technique. — Sur les fonctions polygonales périodiques, par Tr. LALESCO, p. 43. — Revues, analyses et informations : Quelques phénomènes de transition dans les systèmes de distribution électrique, p. 45. — Comparaison entre l'équilibre élastique interne des alliages après trempe et après vernissage, par étirage à froid, p. 52.

Section industrielle. — Sur l'emploi de l'aluminium dans l'industrie de l'électricité (*suite et fin*), par E. DUSAUGEY, p. 53. — Prime au personnel sur les économies de charbon dans une centrale électrique thermique, par M. GROSPAUD, p. 58. — Application de la théorie et de la pratique à la construction des isolateurs de lignes de transmission, par G.-J. GILCHREST, p. 63. — Revues, analyses et informations : L'industrie de l'azote en Allemagne pendant la guerre, p. 75.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Société industrielle d'Energie électrique, p. 77 ; Banque française pour le Commerce et l'Industrie, p. 77 ; Omnium lyonnais de Chemins de fer et Tramways, p. 77.

Section de Législation. — Notes sur l'application pratique de la loi du 15 juin 1906 et des règlements annexes (*suite*), par A. MONMERQUÉ, p. 79.

Unification ou normalisation ? — Sous ce titre était publiée dans le numéro du 24 février 1917, t. 1, p. 282, une note où nous demandions à nos lecteurs de nous faire connaître leur opinion sur celui de ces mots qu'il convient d'adopter pour traduire le mot anglais « standardization ». Comme il fallait s'y attendre, les opinions exprimées n'ont pas apporté de solution définitive à la question posée, les raisons fournies pour l'adoption de l'un ou de l'autre des mots pouvant être considérées comme s'équivalant. Aussi, dans le numéro du 5 mai 1917, t. 1, p. 681, étions-nous forcés de constater, après la reproduction de quelques-unes des réponses reçues, que nous risquions fort de voir employer indifféremment les mots « unification » et « normalisation », ainsi que « standardisation » et « uniformisation ».

Depuis la publication de ces notes, l'étude de la question a été reprise par un de ceux qui ont le plus contribué à l'unification des filetages, M. Ch. Zetter, qui a exposé les résultats de son travail dans une communication faite l'an dernier aux Comités des Arts économiques et des Arts et Manufactures de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. Dans cette communication, M. Zetter commence par exposer, avec la netteté qui lui est coutumière, l'utilité d'un mot bien choisi et le but que l'on se propose d'atteindre en le choisissant, puis il compare, au point de vue étymologique et sémantique, les quatre mots actuellement en usage et arrive à la conclusion « que le mot « unification » doit être conservé à l'exclusion de tous autres, car il définit complètement le but qu'il s'agit d'atteindre ».

Ne pouvant donner ici, et nous le regrettons, une reproduction du travail de M. Zetter, indiquons toutefois sommairement les raisons qui le conduisent à cette conclusion.

Rappelons d'abord, en suivant M. Zetter, le but que l'on poursuit dans ce que les Anglais appellent la « standardization ». Ce but est triple : 1° établir des réglementations générales et des conditions de réception dans des limites déterminées mais encore larges, pour un groupe de choses servant à l'utilisation d'un même phénomène fondamental, leur ensemble constituant le cahier des charges ou contrat des garanties sauvegardant les droits du producteur et du consommateur ; 2° établir des réglementations englobant les choses d'une même famille, c'est-à-dire servant au même usage, mais différentes de grandeur et de puissance et dont les caractéristiques principales seront, une fois les réglementations établies, liées entre elles par une ou plusieurs fonctions connues ; 3° établir des réglementations ramenant à un même type toutes les choses de même grandeur et même importance dans la même famille, présentant une communauté de conception et d'usage, et rendant exactement les mêmes services, bien que très différentes les unes des autres avant les réglementations.

Ces trois réglementations sont différentes les unes des autres, puisqu'elles passent des règles gouvernant les prin-

Digitized by Google

cipes généraux aux règles qui lient entre elles les différentes grandeurs d'une même famille, puis à la réalisation d'objets précis. Mais la même directrice s'impose, le même esprit doit guider vers le résultat final, par suite un seul mot devrait désigner l'action d'atteindre le but.

Le mot « unification » rend très exactement l'idée qui s'attache à la troisième espèce de réglementations ; il convient également bien pour la seconde espèce : on doit reconnaître qu'il n'indique pas formellement l'idée de réglementations générales et conditions de réception. Le mot « uniformisation » qui, par son étymologie, signifie unité d'aspect, est plus vague ; d'ailleurs l'unité d'aspect peut subsister bien que les éléments se modifient : le ciel peut devenir gris uniforme après avoir été bleu uniforme ; il précise donc moins le but à atteindre. Le mot « normalisation » s'appliquerait bien à l'idée de réglementations générales et conditions de réception, idée qui, comme il vient d'être dit, paraît insuffisamment représentée par « unification » ; mais il ne s'applique pas aux réglementations de seconde et troisième espèce et son emploi pour l'ensemble des trois sortes de réglementation ne peut qu'augmenter la confusion. Quant à l'emploi du mot « standardisation », on lui reproche surtout de substituer un néologisme anglais à un néologisme français ; d'après la savante étude qu'a faite M. Zetter de l'étymologie de ce mot, il n'en est rien : il viendrait comme estandart, qui s'écrivait primitivement avec un a, de la racine sanscrite « sthâ » signifiant « se tenir debout » et donne bien l'idée d'un emblème de ralliement ; aussi peut-il être considéré comme dérivé du français et M. Zetter le préférerait à « normalisation » si la création d'un mot nouveau était indispensable.

Mais M. Zetter ne pense pas que cette création soit nécessaire.

« Le mot « unification », dit-il, est le plus clair et le plus précis, son origine et sa signification ne sont pas contestables. Il est employé depuis longtemps, il a été employé par le Comité électrotechnique français et il est aujourd'hui passé dans les mœurs. Chaque fois qu'il est prononcé, il est compris sans autres explications et nous pouvons même ajouter qu'elles ne sont devenues nécessaires qu'au moment où il lui a été adjoint d'autres expressions qui devaient le compléter et qui n'ont fait qu'amener la confusion actuelle.

» Le mot « unification » ne demande ni complément, ni remplaçant. Sa signification est nettement intelligible, exactement et clairement déterminée. Il se suffit entièrement à lui-même.

» Nous considérons que le mot « unification » doit être conservé à l'exclusion de tous autres, car il définit complètement le but qu'il s'agit d'atteindre »

Bibliographie : Les projecteurs de campagne, par Gaston Breton, ingénieur des Constructions civiles, ancien élève de l'École nationale des Ponts et Chaussées (1). — Jusqu'ici aucun manuel militaire concernant les projecteurs de campagne n'a été publié. M. Breton, officier du génie, vient de faire paraître un important traité qui comble cette lacune. Ce manuel résume de façon claire et précise toutes les connaissances techniques acquises aujourd'hui sur les projecteurs de campagne qui sont destinés à rendre tant de services aux armées.

Les chefs d'équipe des projecteurs de campagne, les officiers d'état-major, les chefs des sections mixtes d'auto-canons et d'auto-projecteurs, les officiers de toutes armes, chargés de la signalisation et de l'éclairage des abords des tranchées avec les projecteurs de petit calibre ont intérêt à le consulter. C'est un ouvrage technique, mais il est essentiellement pratique. Nous allons examiner rapidement les titres des différents chapitres.

Après quelques généralités et définitions, l'auteur étudie, dans un premier chapitre, les appareils de signalisation et de télégraphie optique ; dans un second chapitre, il examine les appareils oxyacétyléniques de 35 cm et les appareils électriques de 35 cm. Il décrit en même temps les appareils générateurs d'électricité : batterie d'accumulateurs, dynamo et magnéto employés par l'armée.

Dans un troisième chapitre, l'auteur étudie les projecteurs électriques à arc ; ce chapitre est de beaucoup le plus étendu et occupe la majeure partie du traité. Il est divisé en deux parties, une partie descriptive et une partie théorique et tactique.

Dans la partie descriptive, M. Gaston Breton commence par étudier la source lumineuse et ses accessoires, il donne de nombreux renseignements sur les charbons et leurs essais, sur le fonctionnement de l'arc et ses caractéristiques, sur la distribution lumineuse autour de l'arc à courant continu ; il examine ensuite la lampe et ses accessoires, les divers réglages, et les lampes employées par l'armée : lampe Harlé, lampe Bréguet, et lampe Barbier-Benard-Turenne.

A ceci font suite des descriptions de l'appareillage électrique des lampes et du groupe électrogène ; l'auteur étudie séparément la dynamo et le moteur à explosion ainsi que leurs divers organes et les accidents qui peuvent leur arriver.

Après quelques renseignements sur la mise en marche des projecteurs de différents types, M. Gaston Breton fait la description des miroirs parabolique et Mangin, du cylindre et de leurs accessoires : niveaux, viseurs, etc. ; il passe ensuite à l'examen des organes de commande du projecteur et des différents modes de transport.

Dans la partie théorique et tactique il donne tout d'abord quelques notions tactiques indispensables pour la direction d'une manœuvre, il étudie ensuite le mécanisme de l'observation dans les faisceaux ; à ce propos, il rappelle les propriétés de l'œil comme organe optique et organe de sensation ; les notions exposées par l'auteur sont nettes, précises et ne contiennent que les éléments de mathématiques et d'optique géométrique absolument nécessaires pour la compréhension et l'exécution des problèmes qui peuvent se présenter dans la pratique militaire ; l'auteur définit également le rôle de l'officier observateur. Il fait ensuite une théorie très complète des faisceaux de projecteurs de lumière et en étudie les diverses propriétés. Dans un autre paragraphe, il examine l'utilisation des projecteurs électriques au combat et dans un dernier chapitre il fait un exposé des essais des projecteurs électriques.

Enfin une troisième et dernière partie de ce précieux traité est consacrée aux annexes ; l'auteur y examine les rôles du sapeur projecteur, du chef d'équipe et du chef de section ; il donne quelques notions sur le matériel d'artillerie et la mitrailleuse et leurs emplois tactiques. M. Gaston Breton termine son ouvrage par des compléments sur la vision, et l'étude anatomique et physiologique de l'œil.

(1) Un volume 18 cm × 12 cm, 375 pages, 233 figures, édité par la librairie militaire Charles Lavauzelle, 124, boulevard Saint-Germain, Paris, et Limoges. Prix : 7,50 fr.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Sur les fonctions polygonales périodiques

Comme on le constatera dès le début de cet article, l'auteur appelle fonctions polygonales périodiques des fonctions dont le diagramme, dans l'intervalle de 0 à 2 π, est représenté par une ligne polygonale ininterrompue, comportant même des segments verticaux et horizontaux. Il se propose de démontrer que de telles fonctions sont aussi développables en série de Fourier, dont le terme général est la somme des termes correspondant à deux cas particuliers, celui où la ligne brisée ne comprend que des portions verticales et horizontales (fonction des sauts) et celui où elle est uniquement formée de portions obliques (fonction des écarts angulaires). L'avantage des développements en séries trigonométriques réside dans la fidélité avec laquelle celles-ci représentent la ligne polygonale sur tout son périmètre, même dans les portions verticales.

On peut ainsi désigner les fonctions dont le diagramme dans l'intervalle fondamental $(0,2\pi)$ est formé par une *ligne polygonale ininterrompue*, pouvant d'ailleurs contenir aussi des segments verticaux ou horizontaux. Tel serait, par exemple, le cas de la ligne polygonale ABCDEFGHIJK de la figure 1.

Ces fonctions, à l'époque de Fourier et de Jacobi, étaient considérées comme tellement exceptionnelles que

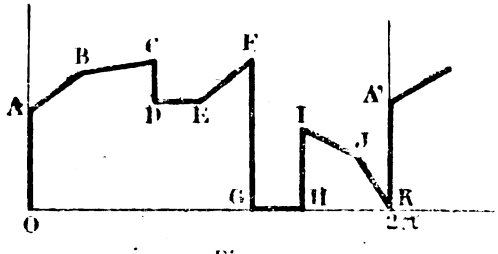


Fig. 1.

justement l'un des titres de gloire impérissables de Fourier est d'avoir eu le courage et le succès de les imposer dans le domaine mathématique, en les plaçant à côté des fonctions raisonnables de Jacobi, grâce à leur propriété d'admettre un développement en série trigonométrique, valable dans tout l'intervalle fondamental.

Une des particularités les plus remarquables du développement trigonométrique consiste dans sa propriété d'épouser la ligne polygonale *sur tout son périmètre*, même sur les portions *verticales*. A part le phénomène parasite signalé par Gibbs, les développements en série de Fourier, de la fonction (1), représentent exactement non une fonction discontinue aux points où il y a des sauts, mais bien une fonction dont le diagramme est la ligne polygonale tout entière, sans aucun arrêt de continuité.

C'est donc dans ce sens plus large, qu'il faut avoir en vue ces sortes de fonctions dans les problèmes théoriques concernant les développements en série trigonométrique.

Mais dans le domaine pratique aussi, il y a intérêt à s'habituer à cette notion générale de fonction, donnée par un diagramme qui peut très bien avoir aussi des portions verticales. Il suffit de jeter un coup d'œil sur les courbes intéressantes que MM. Michelson et Stratton (1) ont tracées à l'aide de leur appareil en limitant quelques développements trigonométriques semblables à leurs quatre ou cinq premiers termes, pour se rendre compte immédiatement que la courbe limite représentée par le développement tout entier doit bien être envisagée de la manière précédemment indiquée.

Les fonctions polygonales périodiques doivent être considérées comme les fonctions élémentaires de la théorie des séries trigonométriques. Cette manière de voir, soutenable à priori au point de vue théorique, car ces fonctions consistent en morceaux de fonctions linéaires, est aussi justifié par la pratique dans les sciences expérimentales où les fonctions harmoniques jouent un rôle prépondérant. C'est ainsi que, dans l'étude des machines à courant alternatif, ce sont ces fonctions qui se présentent immédiatement après la fonction sinusoïdale (2).

Dans ce qui suit, je me propose d'établir un théorème général très simple concernant leur développement en série de Fourier et de montrer ainsi que les considérations précédentes sont pleinement justifiées. Je me réserve de montrer à une autre occasion tout le parti qu'on peut en tirer pour la théorie générale des séries trigonométriques.

1. **La fonction élémentaire.** — Nous considérons d'abord le cas simple de la fonction définie par le diagramme (2), linéaire depuis x_1 jusqu'à x_2, nulle partout ailleurs dans l'intervalle $(0,2\pi)$, et proposons-nous de trouver son développement de Fourier.

En désignant par y_1 et y_2 les ordonnées extrêmes du segment $P_1 P_2$ et par k son coefficient angulaire, on a

$$a_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} f(x)\cos nx\,dx = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} [y_1 + k(x-x_1)]\cos nx\,dx$$

$$= \frac{1}{\pi}(y_1 - kx_1)\int_{x_1}^{x_2}\cos nx\,dx + \frac{1}{\pi}k\int_{x_1}^{x_2} x\cos nx\,dx.$$

D'où finalement

$$\pi a_n = \frac{1}{n}[y_2\sin nx_2 - y_1\sin nx_1] + \frac{k}{n^2}[\cos nx_2 - \cos nx_1].$$

(1) *Philosophical Magasine*, 1898, t. XLV, p. 85.

(2) Voir P. JANET. Cours d'Électrotechnique générale, 4e édition, t. II, p. 204-212.

Digitized by Google

On a de même

$$\pi b_n = \frac{1}{n}[y_1 \cos n x_1 - y_2 \cos n x_2] + \frac{k}{n^2}[\sin n x_2 - \sin n x_1].$$

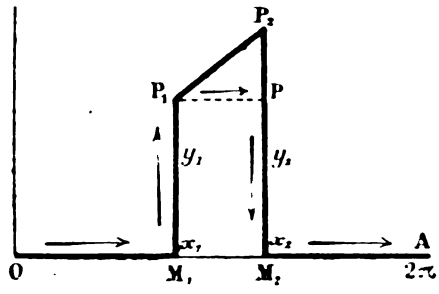


Fig. 2.

Le groupe du terme général, $a_n \cos n x + b_n \sin n x$, est donc égal, au facteur π^{-1} près, à

$$\frac{y_1 \sin n(x-x_1) - y_2 \sin n(x-x_2)}{n} + k\frac{\cos n(x-x_2) - \cos n(x-x_1)}{n^2}.$$

2. **La fonction des sauts.** — Dans le cas particulier où le segment $P_1 P_2$ est horizontal, on a $k = o$; donc le terme général se réduit à

$$\frac{y_1}{\pi n}[\sin n(x-x_1) - \sin n(x-x_2)]. \qquad (1)$$

On peut énoncer ce résultat de la façon suivante :

Parcourons le périmètre $O M_1 P_1 P M_2' A$, de l'origine O, jusqu'à l'extrémité A (2π) de l'intervalle fondamental tout entier.

Chaque portion verticale du périmètre donne un terme égal à

$$\frac{1}{\pi}\frac{\sin n(x-x_1)}{n},$$

multiplié par le *saut* que la fonction subit sur cette portion, positif ou négatif, suivant qu'il est parcouru dans le sens positif ou négatif (voir fig. 2).

Les portions horizontales ne donnent rien.

Cet énoncé a l'avantage de s'étendre immédiatement au cas général d'une *fonction à sauts*.

On appelle ainsi une fonction dont le diagramme est formé par des segments horizontaux; c'est un assemblage de constantes.

Soit $f(x)$ une pareille fonction présentant aux points $(o, x_1, x_2 .., x_{r-1}, 2\pi$ les sauts $\tau_0, \tau_1 .... \tau_r$, comptés positivement si la fonction croit et négativement, dans le cas contraire.

Le développement de Fourier de cette fonction a comme terme général :

$$S_n = \frac{1}{\pi}\sum_{0}^{r} \tau_k \frac{\sin n(x-x_k)}{n}. \qquad (2)$$

En effet, on peut décomposer la fonction $f(x)$ en r fonctions élémentaires du type précédent, une relative à chacun des r intervalles $(o x_1 \ldots x_{r-1}, 2\pi)$. On a évidemment

$$f(x) = f_0(x) + f_1(x) + \ldots + f_{r-1}(x).$$

Cela posé, appliquons le théorème précédent à chacune des fonctions composantes. Les parties communes sur les ordonnées des sauts se détruisent mutuellement et l'on obtient finalement la formule (2).

3. **Fonction des écarts angulaires.** — On peut obtenir un résultat entièrement analogue si l'on considère maintenant une fonction polygonale sans sauts, telle que celle indiquée dans la figure 3.

Appelons *écart angulaire*, en un sommet, la différence entre les coefficients angulaires du segment antérieur et postérieur qui s'y rencontrent.

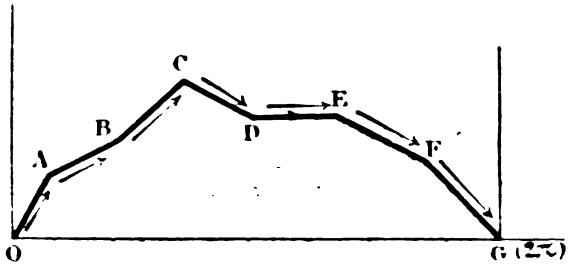


Fig. 3.

On peut établir aisément que, si l'on désigne par τ_k l'écart angulaire au sommet d'abscisse x_k, le terme général du développement de Fourier d'une pareille fonction est égal à

$$T_n = \frac{1}{\pi}\sum_{0}^{r} \tau_k \frac{\cos n(x-x_r)}{n^2}. \qquad (3)$$

Dans cette formule, τ_0 et τ_r, c'est-à-dire les écarts extrêmes, sont comptés par rapport à l'horizontale. On peut d'ailleurs aussi les rassembler dans un seul terme et introduire l'écart angulaire de l'extrémité de l'intervalle, car $\cos n(x - 2\pi) = \cos nx$.

4. **Cas général.** — Le cas général est maintenant, pour ainsi dire, résolu.

Si la fonction polygonale est quelconque, son terme général sera de la forme

$$S_n + T_n$$

et chacune des expressions S_n et T_n s'obtiendra simplement en parcourant le périmètre de la ligne polygonale. A chaque segment vertical, s'introduit un terme égal à

$$\frac{\tau_k}{\pi}\frac{\sin n(x-x_k)}{n},$$

caractérisé par la valeur τ_k du saut et par l'abscisse x_k

Digitized by Google

de l'ordonnée ; à chaque variation d'inclinaison s'introduit un terme égal à

$$\frac{\tau_k}{\pi}\frac{\cos n(x-x_k)}{n^2},$$

caractérisé par la valeur τ_k de l'écart angulaire et par l'abscisse x_k du sommet. Il est à remarquer que, dans le calcul de l'écart angulaire, on ne tiendra pas compte des segments verticaux intermédiaires.

Le développement de Fourier s'obtient ainsi sans aucune difficulté, dans le cas général, par un procédé régulier. Les formules établies permettent de tirer quelques remarques utiles, concernant la nature de la convergence de ces séries.

Si la fonction polygonale est *continue*, c'est-à-dire si elle est dépourvue de sauts, la formule (3) montre que le développement est *absolument* et uniformément convergent. Si l'on désigne par τ la somme totale des écarts pris en valeur absolue, l'erreur que l'on fait en arrêtant le développement au $n^{\text{ème}}$ terme, est inférieure à

$$\frac{\tau}{\pi}\cdot\frac{1}{n}.$$

Elle est donc de l'ordre de $\frac{1}{n}$.

Si la fonction présente des sauts, la convergence n'est plus absolue ; elle reste uniforme si l'on exclut les sommets, et l'on peut démontrer facilement que l'erreur commise en s'arrêtant au $n^{\text{ème}}$ terme est toujours de la forme $\frac{A\sigma}{n}$, où σ désigne la somme totale des sauts, pris en valeurs absolues et A, un coefficient qui ne dépend que de la longueur des intervalles enlevés autour de chaque sommet.

Tr. Lalesco,
Professeur à l'Université de Bucarest.

Revues, analyses et informations

Quelques phénomènes de transition dans les systèmes de distribution électrique (1).

Introduction. — L'étude des phénomènes dits de transition dans les systèmes de distribution électrique est devenue, par suite de l'accroissement de dimension des stations génératrices et des réseaux de distribution, un sujet dont l'importance pratique va constamment en croissant. Quelques traités comme celui de Steinmetz, « *Transient Phenomena and Oscillations* », envisagent d'une manière complète le côté théorique du sujet. Duddell, dans son discours présidentiel, en novembre 1913 (2), a appelé l'attention des ingénieurs sur quelques phénomènes qui n'avaient pas été étudiés sérieusement.

L'auteur se propose dans l'article que nous analysons d'envisager quelques-uns des phénomènes de transition qui se produisent journellement dans les systèmes de distribution. Presque tous ont été enregistrés au moyen de l'oscillographe et peuvent être reproduits avec des machines de capacité moyenne.

Courants de démarrage des transformateurs. — Un des phénomènes de transition les mieux connus est celui qui se produit quand on branche un transformateur sur un réseau à courant alternatif. Quand on utilisait, à peu près universellement, des courants de 100 p : sec, le phénomène n'avait pas une grande importance, puisqu'on maintenait une faible densité du flux dans le noyau des transformateurs afin d'éviter un trop fort échauffement ; avec des transformateurs pour courants de 50 p : sec, le phénomène ne donnait pas encore naissance à des oscillations dangereuses, mais avec des transformateurs pour courants de 25 p : sec, supportant des densités du flux bien supérieures à la demi-saturation, les courants qui prennent naissance quand on branche le tranformateur peuvent être énormes. Steinmetz a montré qu'avec des transformateurs prévus pour un flux de 10 000 lignes par cm², l'amplitude de l'oscillation produite peut atteindre une valeur égale à 400 fois celle du courant d'aimantation normal si l'on considère les seules conditions magnétiques ; pratiquement la chute de tension due à la résistance des bobines réduit très notablement le courant. Sur la figure 1 on a représenté l'impulsion observée sur l'une des phases d'un transformateur triphasé de 100 kw, 6 600 v, quand on effectue le branchement au voisinage d'un instant où s'annule l'onde de tension.

L'amplitude de l'oscillation dépend, non seulement de la phase de la tension au moment où l'on ferme l'interrupteur, mais aussi du magnétisme rémanent du fer. Par exemple, si le magnétisme rémanent est de + 5 000 lignes de flux par cm² (fig. 2), la densité maximum du flux en régime normal étant ± 10 000 lignes par cm² et si le circuit est fermé en O (fig. 2), alors que sous les conditions de fonctionnement normal la densité du flux devrait être — 10 000, on aura au bout d'une demi-période une densité de flux de 25 000 lignes par cm² ; la variation de la densité du flux dans le fer qui conduit à la force électromotrice nécessaire étant 20 000, on voit qu'il y a un magnétisme rémanent OA de 5 000 lignes par cm². Dans ces circonstances, le courant qui passe dans le transformateur devra être suffisant pour produire cette densité du flux et peut atteindre plusieurs centaines de fois la valeur du courant d'aimantation normal. Quand on branche le transformateur au même point de l'onde de tension, mais sans qu'il y ait de magnétisme rémanent, l'impulsion produite dans le courant peut aussi être considérable.

D'une manière générale, le magnétisme rémanent n'est pas très grand si le transformateur a été laissé au repos pendant un certain temps, mais, si on le branche et le débranche à des intervalles de temps relativement courts, le magnétisme rémanent peut être considérable et l'impulsion du courant varier dans de très grandes limites.

On a effectué un certain nombre d'essais sur un poste de trois transformateurs abaisseurs de tension de 100 kw branchés sur le réseau. On a reproduit sur la figure 1 un

(1) E.-W. Marchant. Communication faite à l'*Institution of Electrical Engineers*, 5 mars 1918, 9 000 mots, 17 fig.
(2) Duddell, *J. I. E. I.*, 1914, t. LII, p. 1.

Digitized by Google

des graphiques obtenus sur un de ces transformateurs. En désignant les trois phases par X, Y et Z, la tension a été mesurée entre les phases X et Z et le courant sur la ligne Y en sorte que la courbe du courant est déphasée de 90° par rapport à sa phase correcte. La valeur maximum de l'impulsion du courant dépasse, au bout de 2 min, 90 fois le courant d'aimantation normal Dans ce cas, on effectuait la mise en circuit au voisinage d'un point correspondant à une valeur nulle de l'onde de tension, c'est-à-dire à l'instant où, sous les conditions de fonctionnement normal, la densité du flux aurait un maximum positif ou négatif. Si l'on tient compte du déphasage de la courbe du courant, la tension va en diminuant (B, fig. 2) et le flux devrait avoir un maximum positif.

Supposons, en premier lieu, qu'il n'y ait pas de magnétisme rémanent dans le noyau. Il s'ensuit qu'au bout d'un

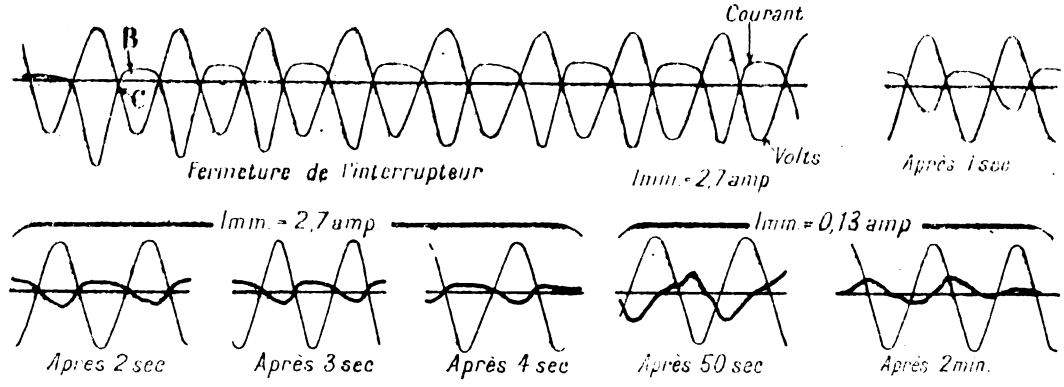


Fig. 1. — Courant dont la phase retarde de 90° par rapport à la phase normale.

quart de période, quand le flux correspondant au régime normal devrait être nul, le flux deviendra — N (si N est la valeur maximum du flux à travers le noyau) ; il est donc nécessaire qu'il y ait un courant négatif. Pendant le premier quart de période, le courant ne sera pas très intense. Durant le second quart de période après la mise en circuit, le flux négatif à travers le noyau doit continuer à croître afin de fournir une force électromotrice dans le sens voulu, et au bout d'une demi-période il atteindra un maximum voisin de — 2 N (en négligeant les effets d'hystérésis et la résistance

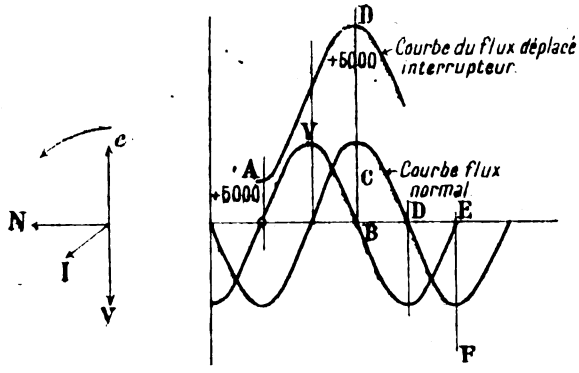


Fig. 2. — Diagramme vectoriel. N, flux ; e, force contre-électromotrice ; V, différence de potentiel appliquée ; I, courant.

des bobines). Le courant nécessaire pour produire ce flux négatif devra aussi atteindre un maximum au même instant.

S'il n'y avait pas réellement de magnétisme rémanent, le courant demeurerait négatif pendant le troisième et le quatrième quart de période, mais, dans les courbes représentées sur la figure 1, le courant s'inverse très vite après un maximum de l'onde de tension, c'est à-dire qu'il doit y avoir un magnétisme rémanent positif du noyau au moment de la mise en circuit, conditions qui ne sont pas les pires qui puissent se présenter.

Pendant le troisième quart de période qui suit la fermeture de l'interrupteur, le flux passe donc du négatif au positif ; le courant qui le produit suit une variation analogue, mais le flux positif étant relativement faible le courant nécessaire à sa production est également faible, et le courant positif pendant le troisième quart de période aussi bien que pendant le quatrième est relativement peu intense. Le fer, dans cet état, ayant une perméabilité très élevée, il s'ensuit qu'une augmentation relativement faible du courant suffit à produire la variation nécessaire de flux dans le noyau. La courbe du courant est presque constituée par des portions rectilignes et rectangulaires, et l'amplitude représente la valeur de la force magnétisante nécessaire pour inverser le sens de l'aimantation du fer, la modification consécutive du flux s'effectuant par une variation très faible du courant. La partie de la courbe marquée C B mesure donc la force coercitive nécessaire pour ramener à zéro l'aimantation du fer. Il est intéressant de noter que cette force coercitive augmente pendant les dix ou douze premières périodes, grâce sans doute à l'aimantation négative intense et répétée du fer.

On a nécessairement omis dans la discussion l'influence des courants de Foucault. Le principal effet de la perte additionnelle qu'ils entraînent est d'introduire dans la courbe du courant une composante en phase avec la tension, qui amène l'onde de courant résultante à être plus étroitement en phase avec la courbe de tension que la courbe de flux. C'est ce qu'on voit sur la figure 1 : la composante due aux courants de Foucault est considérable. Il est intéressant de noter combien lentement disparaît ce magnétisme rémanent. Il est intense au bout de 50 secondes et encore appréciable au bout de 2 minutes. Ce résultat s'accorde avec le fait bien connu que, pour détruire le magnétisme rémanent, il faut désaimanter le fer par une force magnétisante alternative notablement supérieure à celle qui a produit l'aimantation primitive. Avec les courants utilisés, les forces démagnétisantes ne sont pas assez intenses pour désaimanter le fer rapidement. On a quelquefois remarqué que, après avoir branché le transformateur, le bourdonne-

Digitized by Google

ment qui accompagne toujours une aimantation intense peut durer jusqu'à une demi-heure. Pendant ce temps, l'échauffement du noyau dû aux courants de Foucault et à l'hystérésis est notablement plus grand qu'en régime normal, et, dans quelques cas, ceci peut occasionner des troubles dans le fonctionnement du transformateur.

On a représenté sur la figure 3 une autre mise en circuit dans laquelle l'interrupteur a été fermé à un instant voisin de celui où la différence de potentiel présente un maximum; l'impulsion du courant est négligeable. Le magnétisme rémanent ne peut pas, dans ce cas, avoir été intense, et le courant d'aimantation descend bientôt à sa valeur de régime.

Un des phénomènes les plus intéressants relatifs à ces transformateurs est la différence remarquable qui existe dans la forme de l'onde du courant d'aimantation aux différents instants (fig. 4) (1). Dans la figure 4 (*a*) la courbe est presque symétrique et le noyau peut être supposé presque

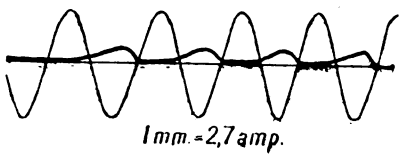


Fig. 3. — Courant dont la phase retarde de 90° par rapport à la phase normale.

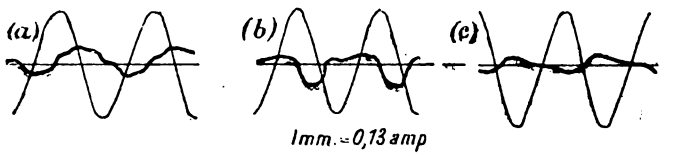


Fig. 4. — Courant dont la phase retarde de 90° par rapport à la phase normale.

complètement désaimanté. Les deux demi-ondes successives du courant ne sont pas exactement semblables mais présentent une symétrie « oblique » qui provient de l'hystérésis dans le fer. La courbe contient un cinquième harmonique intense et aussi un septième harmonique, tandis que la symétrie oblique indique la présence d'harmoniques pairs.

La figure 4 (*b*) représente une courbe également symétrique dans laquelle le noyau peut évidemment avoir été aimanté. Dans ce cas, il y a un troisième harmonique intense dans la courbe du courant qui provient probablement d'un troisième harmonique du courant circulant dans les trois phases du secondaire. Les conditions des essais à la sous-station étaient les mêmes que pour la figure 4 (*a*) bien que la charge fût différente et que l'onde de tension eût une forme légèrement différente. Cette différence est cependant difficilement perceptible sur l'onde de tension.

La figure 4 (*c*) représente une onde presque symétrique (correspondant, par suite, à un noyau presque désaimanté) contenant un troisième harmonique du courant.

Ces différences sont intéressantes, car elles montrent les conditions variables d'aimantation du noyau dans un transformateur qui fonctionne sous des conditions apparemment normales. Comme on l'a suggéré plus haut, les variations dans l'aimantation du fer peuvent affecter considérablement l'échauffement du noyau.

Les facteurs qui affectent l'impulsion du courant sont : 1° l'état d'aimantation du noyau lors de la fermeture de l'interrupteur, et 2° le moment où l'on ferme le circuit. Il est donc impossible d'agir sur cette impulsion, à moins que le transformateur ne soit déconnecté du circuit en un point préalablement déterminé de l'onde de tension de manière à laisser un magnétisme rémanent défini dans le noyau, et qu'il soit ensuite branché à nouveau en un autre instant préalablement déterminé.

Les figures 6 et 7 représentent les courbes obtenues lors du branchement de deux petits transformateurs pour lesquels l'instant de la fermeture a été réglé à $\frac{1}{1000}$ de seconde près au moyen d'un commutateur actionné par un contact lié à l'alternateur qui alimente le système. Le diagramme des connexions utilisées pour ces essais est représenté sur la figure 5. Des résultats analogues ont été indiqués par le professeur J.-T. Morris pour un circuit soumis à des fermetures et des ruptures se succédant rapidement.

Les expériences ont été d'abord exécutées avec deux transformateurs de 3 kw à circuits de haute tension couplés, prévus pour une densité de flux de 3 000 lignes par cm² sous 100 v et 100 p : sec. Ce transformateur est branché sur un circuit à 100 v et 50 p : sec, en sorte que la densité du flux sur le noyau est d'environ 6 000 lignes par cm².

On a représenté sur la figure 6 deux courbes types dans lesquelles : (*a*) le circuit est fermé lors d'un maximum de

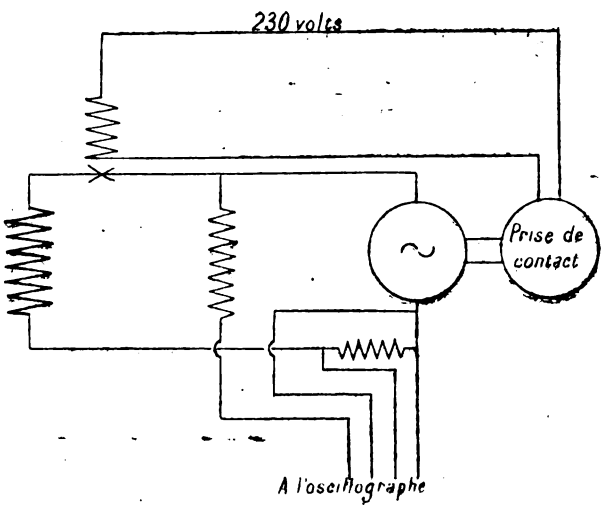


Fig. 5. — Diagramme du circuit pour la prise de contact.

l'onde de tension; (*b*) il est fermé lors d'une valeur nulle de la tension.

Dans la figure 6 (*b*) les effets sont identiques à ceux qu'on a déjà discutés, mais les conditions se stabilisent beaucoup plus vite par suite des dimensions plus faibles des transformateurs. Avec ces transformateurs, quand le circuit est fermé au voisinage d'un maximum de l'onde de tension, l'impulsion est négligeable (fig. 8 *a*); le courant atteint aussitôt sa valeur normale et ne varie pas d'une manière appréciable pendant les quelques premières secondes,

(1) Des phénomènes analogues ont été discutés récemment par M. L.-N. Robinson. *Trans. A. I. E. E.*, 1917, t. XXXVI, p. 960.

Digitized by Google

la courbe étant tout à fait symétrique (le branchement a eu lieu à 0,6 demi-période à partir d'un point o).

On a également étudié un transformateur de 10 kw, 200 v, 50 p : sec, prévu pour une densité de flux de 10 000 lignes par cm². On a représenté sur la figure 7 (*a*) la

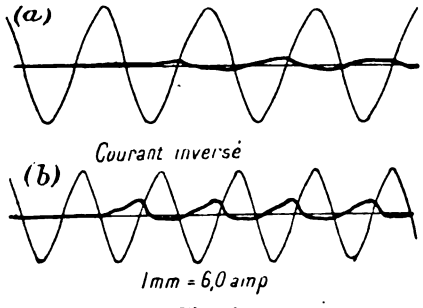


Fig. 6.

courbe du courant d'aimantation, pour ce transformateur, lors de la rupture. Dans cet enregistrement, la rupture a été réalisée lors d'une valeur nulle de la tension (c'est-à-dire à l'instant où le flux est maximum ; on pouvait donc s'attendre à un magnétisme rémanent considérable. La figure 7 (*b*) représente l'impulsion du courant quand on ferme le circuit pour la valeur nulle de la tension qui suit immédiatement. Dans ce cas, le magnétisme rémanent est de sens opposé à celui qui existerait à cet instant en régime normal ; l'impulsion du courant devrait donc être suffisante pour produire un flux qui soit égal à trois fois environ le flux normal maximum au bout d'une demi-période. Le courant s'éteint rapidement, ce qui montre que le noyau atteint aussitôt un état stable. Au bout de 50 p : sec, le courant est presque normal et l'onde est tout à fait symétrique.

La figure 7 (*c*) reproduit un autre enregistrement dans lequel le circuit a été également fermé en un point o de la différence de potentiel. Dans ce cas, il n'y a pas d'impulsion appréciable du courant et le magnétisme rémanent du noyau doit avoir correspondu à des conditions normales. Plusieurs autres graphiques ont été obtenus qui confirment le caractère général de ces résultats.

Impulsion de courant produite lors du branchement des moteurs a induction. — Il se produit presque toujours une impulsion quand on branche un moteur à induction sur un circuit. La courbe obtenue est néanmoins légèrement différente de celle fournie par le transformateur, car le circuit du rotor est fermé, en sorte que le dispositif est comparable à un transformateur en court-circuit, tandis que, dans les cas précédemment envisagés, le secondaire du transfor-

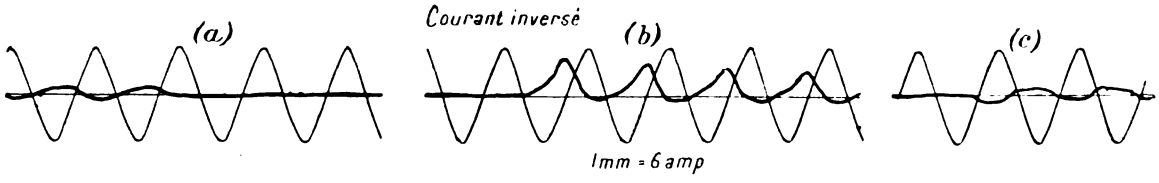


Fig. 7.

mateur est ouvert. Un certain nombre de moteurs-générateurs à induction sont en service sur le système de distribution électrique de la Liverpool Corporation, et l'auteur a effectué quelques essais sur un moteur de 300 ch couplé à un générateur à courant continu de 220 kw. Le moteur est triphasé, monté en étoile avec 6 000 v entre les lignes et consommant à pleine charge 26 a par phase ; la fréquence est 50 p : sec et la vitesse 420 t : min.

On n'a effectué aucun essai en vue de régler l'instant où l'on ferme le circuit qui, dans ce cas, n'affecte pas considérablement l'impulsion du courant. Les enregistrements indiquent que l'impulsion est très importante. Dans ces essais, on a atteint une intensité maximum dépassant 380 a par phase ou une intensité efficace voisine de 270 a, soit dix fois le courant de pleine charge. L'onde de tension demeure tout à fait normale, car la surcharge n'est pas suffisante pour produire un effet appréciable aux extrémités du feeder.

Il est aisé de voir pourquoi l'impulsion est notable.

Quand la machine fonctionne sur le côté continu et avant qu'on ait fermé le commutateur à haute tension sur le moteur à induction, il n'y a pas d'aimantation dans le noyau du stator du moteur à induction. Si la machine fonctionnait au synchronisme absolu, les conditions seraient analogues à celles qui se produisent lors du branchement d'un transformateur et il pourrait y avoir une impulsion due aux causes qu'on a précédemment discutées.

Cette impulsion sera, néanmoins, relativement faible car la densité du flux dans le circuit magnétique des moteurs à induction est faible et il existe un entrefer dans le circuit. Même sous les conditions les plus défavorables, elle n'est pas comparable à celle qui est réalisée dans un transformateur.

Il est cependant difficile de synchroniser exactement les appareils. On les branche ordinairement quand leur vitesse est légèrement supérieure ou légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme. Par suite, il y a une impulsion brusque du courant analogue à celle qui se produit dans un transformateur mis en court-circuit quand on branche le primaire sur un circuit d'énergie. Dans ce cas, l'impulsion produite sur le primaire induit dans le rotor un courant qui le met presque instantanément en marche et qui descend aussitôt à sa valeur normale. Ce courant est naturellement un courant de charge et suppose une grande dépense de puissance dans le moteur en sorte que les forces mises en jeu peuvent être très grandes. Les enroulements du moteur sont soumis à des efforts considérables qui peuvent en entraîner la rupture, surtout avec les fortes machines. Le même effet a été observé sur les turbo-générateurs dont les enroulements sont très solidement fixés pour éviter toute détérioration.

Deux graphiques ont été reproduits sur la figure 8. Pour celui de la figure 8 (*a*), le moteur a été branché sans qu'on ait pris grand soin à le mettre au synchronisme : le courant d'impulsion maximum atteint environ dix fois le courant de pleine charge. Dans le second cas, on a amené la vitesse du moteur générateur à induction exactement à la valeur de régime avant de fermer l'interrupteur : l'im-

Digitized by Google

pulsion initiale est sensiblement la même, mais le courant descend beaucoup plus vite à sa valeur normale.

Impulsion obtenue en branchant des cables souterrains et des condensateurs. — Considérons d'abord un feeder à charge nulle. On le relie habituellement à un certain nombre de générateurs par l'intermédiaire d'un transformateur. Le transformateur a naturellement une inductance considérable qui provient des fuites magnétiques et le générateur possède également de l'inductance en sorte que le système peut être assimilé à un circuit inductif relié brusquement à un condensateur. Les conditions peuvent être réalisées au laboratoire en branchant un certain nombre de condensateurs sur un alternateur.

On a branché un alternateur de 30 kw, 200 v, 50 p : sec sur un condensateur ayant une capacité d'environ 15 micro-

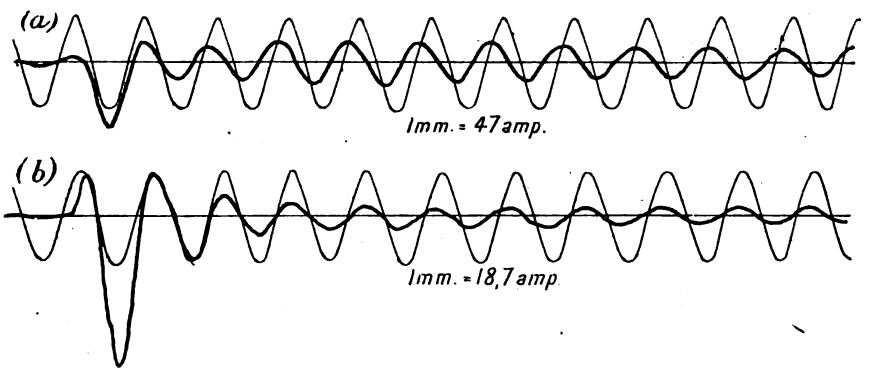


Fig. 8.

farads. On a représenté sur la figure 9 (*a*) le courant de régime qui parcourt le circuit. Une ondulation de haute fréquence est très nette, et il est intéressant de comparer cet enregistrement avec celui du courant de charge dans un câble de 3 miles de longueur (capacité 1 microfarad) qui donne une onde sinusoïdale presque parfaite. La courbe de la figure 9 (*a*) présente un 19ième harmonique intense, et l'onde du courant de charge dans le câble, un 25ième harmonique intense. Avec le condensateur on a réglé l'instant du branchement au moyen d'un commutateur et d'une prise de contact comme on l'a expliqué plus haut. Les

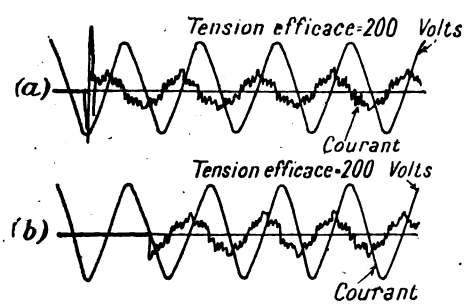


Fig. 9.

courbes du courant et de la tension ont été reproduites pour les deux cas extrêmes (maximum de tension et tension nulle) sur les figures 9 (*a*) et 9 (*b*). Sur la figure 9 (*a*) on peut observer une forte oscillation du courant sous une fréquence de 800 p : sec, la valeur maximum du courant étant sensiblement le double de la valeur de régime. Il n'y a qu'une très légère modification dans l'onde de tension, sauf une brusque dentelure au moment où se produit la surintensté qui disparait tout entière au bout d'un temps relativement court.

Il y a nettement trois conditions du circuit qui produiront des résultats variables lors de la fermeture, notamment.

1° Les valeurs de la capacité et de l'inductance sont telles qu'elles correspondent à une fréquence propre supérieure à la fréquence de fonctionnement : cas de la figure 9 (*a*);

2° La fréquence propre correspond à la fréquence du fonctionnement (résonance);

3° La fréquence propre est inférieure à la fréquence de fonctionnement.

Il y aurait même un quatrième cas à considérer, celui où la résistance du circuit est tellement élevée que le circuit n'est pas oscillatoire.

Le seul cas réellement dangereux est le premier; les conditions qu'il implique sont d'ailleurs celles qui sont de beaucoup le plus fréquemment réalisées. La théorie de ces surintensités a été donnée, en particulier, par Steinmetz.

Nous pouvons considérer le courant qui parcourt le circuit comme dû à la combinaison des courants provenant de la surintensité produite lors de la fermeture du circuit et du courant qui passe à l'état de régime. La surintensité dépend de l'instant où l'on ferme le circuit. Théoriquement, dans la plupart des cas, elle prendra sa plus grande valeur quand l'interrupteur est fermé lors d'un maximum de la différence de potentiel. C'est ce que montrent expérimentalement les figures 9 (*a*) et 9 (*b*). L'impulsion s'évanouit rapidement, le décrément dépendant de $\frac{R}{2L}$, facteur qui intervient dans le décrément des circuits oscillatoires habituels. Dans une ligne de transmission, elle se propage naturellement le long de la ligne comme une onde dans l'espace et se réfléchit aux points où les constantes de la ligne changent.

Afin de vérifier ces prévisions l'auteur a effectué des essais au laboratoire avec un condensateur de 45 microfarads. Dans ces essais (voir fig. 10) (*a*), la fréquence propre du condensateur et du générateur était égale à 12 fois la fréquence du système. La théorie que donne l'auteur montre que le maximum de l'impulsion vaut également 12 fois le courant normal qui traverse le condensateur quand on ferme le circuit au moment d'un maximum de la différence de potentiel. Le maximum observé est, dans ce cas, égal à 9 fois environ la valeur maximum du courant de charge normal.

Digitized by Google

L'élévation de tension est plus nette sur ce graphique que sur ceux de la figure 9, l'oscillographe ayant mieux répondu aux oscillations de fréquence plus faible ; et quoique la tension maximum sur le condensateur ou les câbles ne soit pas double du maximum de régime, elle présente sur cette valeur une augmentation de 30 pour 100. La théorie montre que la plus grande augmentation possible est environ deux

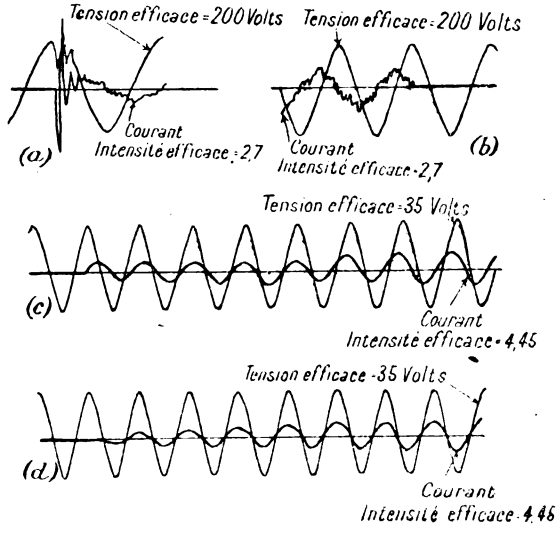


Fig. 10.

fois le maximum de la différence de potentiel. Ceci concorde bien avec les élévations enregistrées par Duddell, égales à 2,6 fois la tension efficace.

La rupture représentée sur la figure 10 (*b*) n'a rien de remarquable.

On a ensuite réglé le circuit à la résonance par l'insertion d'une inductance supplémentaire. Les graphiques correspondant à la fermeture lors d'un maximum ou d'un point zéro de l'onde de tension sont indiqués respectivement sur les figures 10 (*c*) et 10 (*d*). Toutes les oscillations de haute fréquence ont, naturellement, disparu, et le courant s'élève graduellement jusqu'à la valeur totale.

Dans les expériences relatives au branchement sur feeder l'auteur a utilisé un câble de 3,5 milles, prévu pour 6 600 v entre les trois âmes, la capacité entre chaque phase et la terre étant de 0,27 microfarad par mille. Chaque âme avait une section de 1,25 cm² et le revêtement extérieur était mis au sol. La figure 11 (*a*) représente une courbe de branchement ; l'impulsion est très faible et le régime se stabilise après un intervalle de temps très court.

La figure 11 (*b*) représente la courbe obtenue en fermant l'interrupteur au voisinage d'un maximum de la différence de potentiel. Dans ce cas, l'impulsion est également inappréciable sur le graphique, grâce probablement à sa haute fréquence.

Les graphiques les plus intéressants ont été obtenus en ouvrant l'interrupteur. La charge sur le câble ne s'éteint pas d'une manière continue, mais il y a une oscillation de faible fréquence d'environ 12 p : sec.

Dans certains essais, on a coupé le câble du circuit à la sous-station et enregistré la tension à la station centrale. Dans ce cas, les interrupteurs commandant les feeders étaient ouverts à la station centrale et le feeder était alimenté par du courant provenant de la sous-station (la puissance nécessaire à la sous-station provenant naturellement de la station centrale par un autre feeder). Les connexions sont indiquées schématiquement sur la figure 12. Deux de ces graphiques sont reproduits sur la figure 13 ; l'un correspond au branchement et l'autre à une interruption lors d'un instant où le courant est nul. L'instant de la rupture ne pouvait naturellement pas, dans ce cas, être réglé à volonté, mais comme on le fait le plus souvent quand on utilise des interrupteurs à huile, on interrompait le circuit

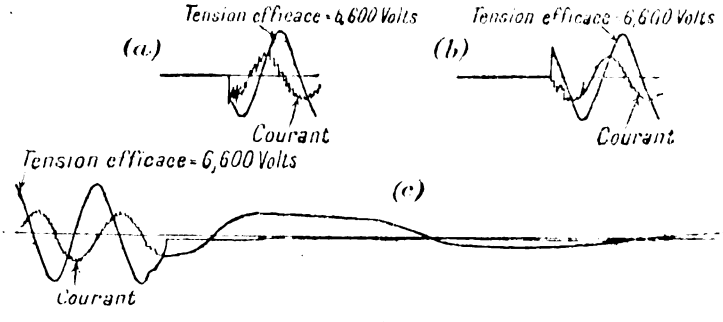


Fig. 11.

en un point où l'onde de courant s'annule. Il n'y a pas d'élévation de tension appréciable, dans l'un ou l'autre cas, et aucune trace de surintensité.

Une troisième série d'essais ont été faits à la sous-station située à mi-chemin environ entre les extrémités du feeder. La sous-station est à Binns-road à 2 000 yards de Lister-drive et le feeder va de Lister drive à Smithdown-road, le parcours total étant de 5 250 yards. Le courant était interrompu à Lister-drive et l'enregistrement effectué à Binns-road. Dans ce cas, on laissait les transformateurs de la sous-station branchés sur le feeder. Les graphiques obtenus sont reproduits sur la figure 14.

La fermeture de l'interrupteur représentée par le graphique de la figure 14 (*a*) ne présente aucune particularité bien nette, sauf les irrégularités dues au contact de l'interrupteur et une légère impulsion du courant, mais la rupture (fig. 14) (*b*) indique une élévation de tension considérable, le maximum étant 11 400 v. supérieur d'environ 25 p. 100 au maximum de tension dû à la différence de potentiel ordinaire. La position de Binns-road sensiblement à mi-chemin entre Lister-drive et Smithdown-road devrait correspondre à un ventre de tension dans le câble, c'est-à-dire à un renforcement de l'impulsion provenant de Lister-drive par la fraction réfléchie à Smithdown-road. L'onde de ten-

Digitized by Google

sion, dans ce cas, est cependant due, sans doute, à la mise hors-circuit du transformateur et elle est causée par son inductance; l'augmentation de tension est réduite par la capacité du câble branché en dérivation, mais la capacité n'est pas suffisante pour l'annuler entièrement. Dans ce cas, la méthode de rupture utilisée, c'est-à-dire l'interruption du circuit à la station centrale, réduit l'effort sur le transformateur mais l'augmente sur le câble, tandis que l'interruption à la sous-station peut accroître l'effort sur le transformateur mais protéger le câble contre une tension excessive.

Mise en parallèle des alternateurs. — Les courants de synchronisation qui se produisent quand on branche des alternateurs en parallèle sont bien connus; la théorie du fonctionnement en parallèle a été donnée par Rosenberg, Everest, etc. L'auteur a relevé cependant quelques oscillogrammes du

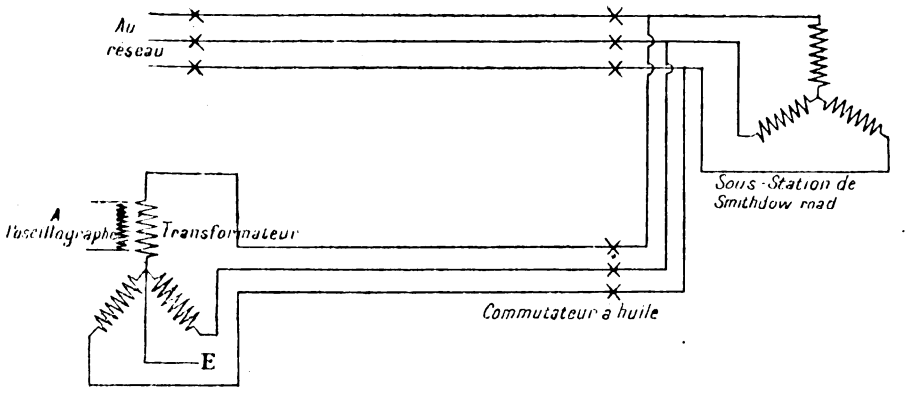


Fig. 12. — Dispositif pour observer la tension à l'extrémité du feeder.

courant circulant entre des turbo-alternateurs quand une machine hexapolaire de 1 500 kw est mise en parallèle avec une machine tétrapolaire de 6 000 kw. Les ondes de tension sont très sensiblement sinusoïdales, comme le montre la figure 15, la caractéristique la plus remarquable étant la forme irrégulière de l'onde de courant.

Le courant qui circule quand on branche une machine en

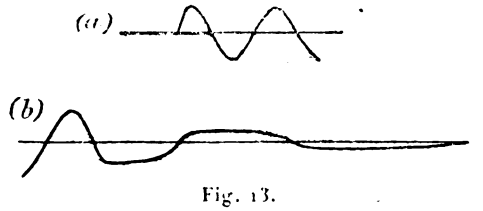


Fig. 13.

parallèle sur une autre, dépend de deux facteurs : 1° de la différence de phase entre la force électromotrice de la machine qu'on introduit et la tension sur les conducteurs; 2° de la vitesse relative des machines lors de la fermeture du circuit. Bien que la mise en parallèle soit une manœuvre qui, faite par un opérateur exercé, puisse être effectuée très près de l'égalité des phases, il peut y avoir des variations de $\frac{1}{20}$ de période dans l'instant de fermeture du circuit. Cette variation produit naturellement des différences considérables dans les courants qui passent entre la machine qu'on introduit et les conducteurs. Elles sont représentées sur la figure 16.

La courbe de la figure 17 (*a*) a été obtenue en fermant l'interrupteur presque exactement au moment voulu, et l'impulsion du courant est très faible, le déphasage étant lui-même très faible. La courbe de la figure 16 (*b*) correspond à un déphasage considérablement supérieur. Ces deux courbes représentent probablement les limites des variations qui peuvent se produire sous des conditions de fonctionnement ordinaire avec un bon opérateur.

Sur la figure 16 (*b*) il est à remarquer qu'il y a une période plus ou moins régulière d'accroissement et de diminution du courant. La période de cette variation du courant est approximativement $\frac{1}{5}$ de seconde et représente la période naturelle de vibration de l'alternateur quand il fonctionne en parallèle avec d'autres machines. La courbe montre la variation de la différence de phase entre le courant qui circule et la tension de la machine. Immédiatement après la fermeture du circuit, sur la figure 16 (*b*), il y a une impul-

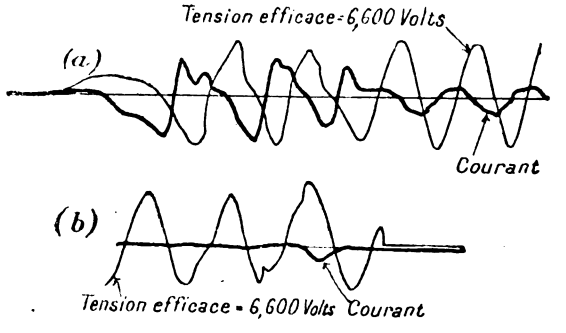


Fig. 14. — Courant dont la phase est en avance de 150° sur la phase normale en (*a*).

sion de courant irrégulier qui s'éteint rapidement, et, après sept périodes environ, il y a presque exactement opposition de phase entre le courant et la différence de potentiel. Ce courant, qui est un courant moteur pour la machine, croît jusqu'à un maximum, puis s'éteint presque complètement, sauf un cinquième harmonique intense qui continue à parcourir le circuit. Pendant les dix périodes suivantes, le courant qui circule augmente d'une manière constante, mais c'est alors un courant produit, ou courant de charge, presque en phase avec la différence de potentiel. Il diminue encore jusqu'à un minimum au bout d'environ 20 p : sec

Digitized by Google

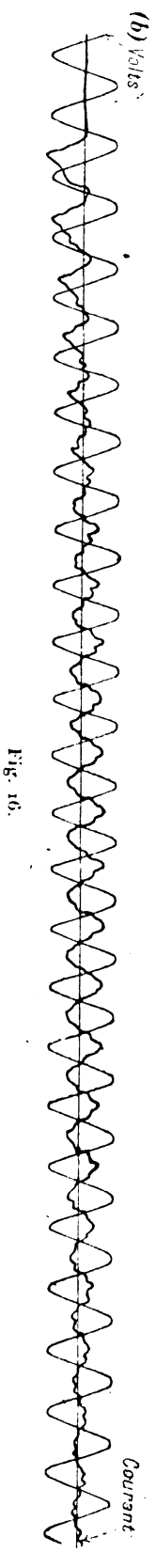
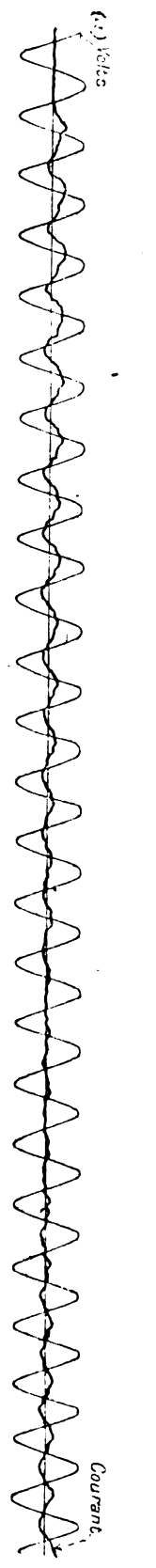


Fig. 16.



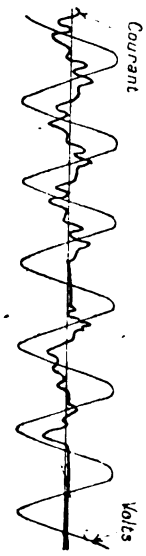


Fig. 15.

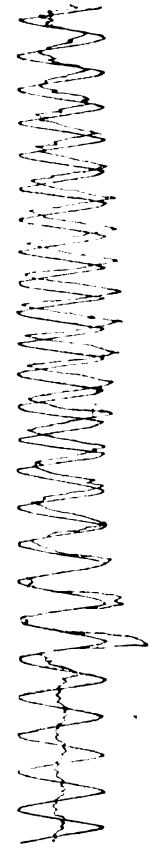


Fig. 17.

à partir du minimum précédent et le même processus se reproduit. Le deuxième maximum du courant est un peu inférieur au premier. On peut naturellement calculer la période naturelle d'oscillation de la machine, connaissant le moment d'inertie, les courbes de court-circuit correspondant à une tension connue, et le nombre de pôles du générateur (1). Le résultat expérimental est cependant intéressant et donne un nombre bien défini pour les conditions réelles du fonctionnement Il importe naturellement que cette période soit différente de celle sous laquelle fonctionne le mécanisme directeur.

Un essai analogue a été effectué sur une commutatrice de 1 500 kw à auto-synchronisation ; la figure 17 en donne le graphique. Dans ce cas, la période d'oscillation est un peu plus courte. C'est d'ailleurs ce qu'on pouvait attendre, le moment d'inertie de la masse en rotation étant très inférieur à celui d'un turbo-générateur de même capacité. Le décrément de l'oscillation est aussi beaucoup plus grand, le courant en phase pendant la deuxième oscillation étant très inférieur à celui de la première oscillation. La machine est munie d'amortisseurs en cuivre sur les pôles qui augmentent grandement l'amortissement des oscillations.

A. B.

Comparaison entre l'équilibre élastique interne des alliages après trempe et après écrouissage, par étirage à froid (2).

A diverses reprises, dans le but d'imaginer le mécanisme interne par lequel la trempe agissait sur les propriétés des alliages et notamment sur la dureté, on a mis en parallèle les modifications apportées par l'écrouissage avec celles provoquées par la trempe et on a fait intervenir les efforts internes résultant du refroidissement inégalement rapide lors de la trempe pour expliquer la similitude des effets.

M. Portevin a déjà étudié les efforts longitudinaux developpés dans des cylindres métalliques par le refroidissement rapide, en utilisant la méthode employée pour déterminer les efforts internes dans les barres étirées à froid à la filière.

Il vient de procéder de la même façon à une comparaison qualitative entre l'équilibre élastique interne d'un même alliage après trempe et après écrouissage par étirage. Il a opéré sur du laiton à 60 pour 100 de cuivre ; il donne dans sa note deux diagrammes représentant les résultats obtenus. D'après ces diagrammes l'extérieur du cylindre étudié se trouve en compression du fait de la trempe et en extension après étirage.

En trempant à 850° dans l'eau un tronçon d'une barre de laiton étiré de 40 mm de diamètre, on a pu observer, par le fait de la trempe, le renversement de sens dans la distribution générale des efforts ; dans cette expérience, l'effort axial passait de — 11 à + 24 kg : mm².

D'après ce qui précède, on voit qu'il faut être prudent en établissant des analogies entre les résultats des opérations de trempe et d'écrouissage, au moins en ce qui concerne l'équilibre élastique interne longitudinal.

Une trempe préalable en renversant le sens des efforts internes permettrait peut-être un étirage plus poussé que celui dont le métal est capable en partant de l'état recuit.

(1). W. Knight. La marche en parallèle des alternateurs, etc., *Revue générale de l'Électricité*, 4 mai 1918, t. III, p. 653 656.

(2) A. Portevin. *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 23 décembre 1918, t. CLXVII, p. 1 033, 500 mots, 2 fig.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

Sur l'emploi de l'aluminium dans l'industrie de l'électricité *(suite et fin)*

Nous avons publié dans notre numéro du 4 janvier 1919 la première partie de la conférence faite par M. Dusaugey à la Société française des Electriciens. Nous donnons ci-dessous la deuxième partie de cette communication dans laquelle l'auteur étudie la mise en œuvre des conducteurs d'aluminium, qui sont particulièrement indiqués pour les lignes aériennes. Pour les conducteurs en câbles isolés, l'emploi de l'aluminium dépend des conditions économiques, et doit être comparé de près avec l'utilisation du cuivre. M. Dusaugey termine sa communication en indiquant les autres emplois possibles de l'aluminium dans l'industrie électrique.

7. **Mise en œuvre des conducteurs d'aluminium.** — Les conducteurs d'aluminium ne se mettent pas en œuvre autrement que les conducteurs de cuivre. Toutefois, lorsque l'aluminium doit être soumis à un effort mécanique, comme dans les lignes aériennes, il doit, en raison de sa dureté moindre, être manipulé avec plus de soin que le cuivre. Il en résulte, depuis l'atelier de fabrication jusqu'au montage sur les supports, une série de petites précautions, de tours de mains, que les fabricants et monteurs acquièrent rapidement et dont ils usent ensuite automatiquement.

Beaucoup d'accidents sont survenus aux lignes d'aluminium par suite des mauvais soins apportés à la manipulation des conducteurs. Les constructeurs de lignes qui, à l'exception de quelques-uns, sont parmi ceux qui ont fait le plus mauvais accueil au nouveau métal, sans doute en raison de ces quelques exigences nouvelles, ne manquent pas, dans ce cas, d'en reporter toute la faute sur l'aluminium lui-même. Nous espérons que cette fâcheuse tendance des entrepreneurs de réseaux électriques disparaîtra désormais devant une meilleure compréhension de l'intérêt général et qu'au lieu de combattre l'aluminium, ils voudront bien collaborer au perfectionnement de sa technique.

Examinons rapidement l'état actuel de cette technique.

a) Lignes aériennes. — Quelle que soit la nature du métal, il est recommandable de ne jamais employer du fil massif dans les lignes aériennes. Le câble qui peut être obtenu par plus grandes longueurs que le fil massif, exige moins de joints ; constitué par des fils plus écrouis, il est plus résistant et plus dur ; il est aussi plus souple et plus élastique et enfin il n'est pas à la merci d'un défaut de métal ou d'une simple blessure accidentelle. Ces avantages sont plus appréciables, on le conçoit, pour l'aluminium que pour le cuivre ; aussi est-il indispensable, malgré les inconvénients inhérents à leur constitution (plus grand poids, plus grand diamètre, plus grande résistance électrique linéaire), de n'utiliser que des conducteurs câblés dans la constitution des lignes aériennes en aluminium.

La composition même de ces câbles n'est pas sans importance ; il ne faut pas employer des fils trop gros dont la résistance mécanique est trop réduite et il ne faut pas employer des fils trop fins parce qu'ils présentent moins d'élasticité, parce qu'ils peuvent être plus gravement blessés pendant les manipulations et parce que la charge se répartit d'autant mieux dans la section du câble qu'il est composé d'un moins grand nombre de brins. Pour ces motifs, il est bon de composer les câbles d'aluminium avec des brins d'un diamètre compris entre 20/10 et 45/10. Les câbles avec âme en chanvre ne sont pas à recommander parce que la conservation du chanvre est douteuse et parce que, pour une section utile donnée, le diamètre est inutilement augmenté.

La *manipulation* des conducteurs d'aluminium exige quelques mesures de précautions. Les tourets doivent être disposés de manière à éviter toute blessure pendant le transport. Pendant le déroulage et le réglage de la flèche, il faut éviter les frottements sur les corps durs. Ce sont des sujétions bien faciles à respecter à l'aide d'un outillage des plus simples.

C'est ici le moment de faire remarquer que la légèreté de l'aluminium est un avantage précieux au point de vue des transports sur voies ferrées, sur routes, à travers les champs, dans les montagnes et dans les régions coloniales lointaines. Ce sera surtout un avantage précieux après la guerre lorsqu'il faudra rapidement reconstituer les installations électriques de nos régions dévastées, avec des voies en mauvais état et des moyens de transport réduits.

La *fixation* des conducteurs sur les isolateurs doit être faite de manière à éviter, sur la porcelaine ou sur le verre, tout frottement continu qui pourrait à la longue user le métal et entraîner la rupture du conducteur. Plusieurs dispositifs simples évitent ce danger tout en laissant à l'amarrage la souplesse nécessaire pour que le balancement des conducteurs ne cause pas des efforts répétés de pliage ou de torsion qui fatigueraient le

Digitized by Google

métal et provoqueraient sa rupture. L'un des dispositifs présentés (fig. 1, 2 et 3) est l'amarrage courant effectué à

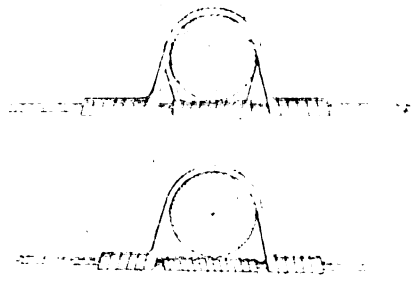


Fig. 1 et 2.

l'aide d'une barre d'aluminium recuit aplatie à ses extrémités. Le dispositif de la figure 4 est recommandable

Fig. 3.

dans les grandes portées et dans les hautes altitudes.

La *jonction* des conducteurs d'aluminium entre eux est

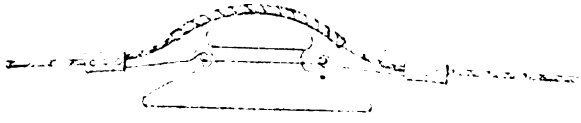


Fig. 4.

peut-être l'opération qui demande le plus de soin en raison de la pellicule d'alumine qui pourrait introduire une légère résistance et provoquer un échauffement du joint. Les surfaces en contact préalablement bien dressées, doivent être parfaitement nettoyées avant rapprochement et très légèrement frottées au chiffon gras pendant leur manipulation. Leur serrage doit être assuré mécaniquement avec toute la vigueur possible, non seulement pour mettre les surfaces à l'abri de toutes les actions oxydantes ultérieures, mais encore pour rendre aussi minime que possible la résistance de contact comme dans un joint parfait. Il est en effet démontré que le serrage est un facteur aussi important que la surface de contact et que la véritable solution des joints réside dans l'efficacité du serrage en vue de faire participer toute la surface de contact à la pression. Des essais ont montré que la conductance d'un joint, qui est d'abord proportionnelle à la surface de contact, croît rapidement avec le serrage et que, lorsque celui-ci a atteint une certaine valeur, l'influence de la dimension des surfaces devient à peu près négligeable. Tout le secret d'un bon joint d'aluminium réside dans cette mesure. En donnant à la surface de contact une valeur égale à 8 ou 10 fois la section du conducteur et en opérant le serrage soit directement avec des boulons d'acier étamé solides et en nombre convenable, soit avec des mâchoires de forme appropriée, serrées par des boulons d'acier, on peut être certain de réaliser un joint dont la résistance est de l'ordre du millionième d'ohm. Il est bien évident que toutes mesures doivent être prises pour éviter un desserrage progressif. On peut enfin, par surcroît de précaution, et pour éviter toute oxydation ultérieure, enduire l'extérieur du joint achevé d'une couche de vernis ou de peinture.

C'est surtout à la jonction des conducteurs à gros débit que ces mesures se rapportent. Dans les lignes aériennes, les jonctions se font, d'après le même principe, par rapprochement et liaison par recouvrement des extrémités dans un manchon d'aluminium doux de dimensions appropriées à la section des conducteurs. La compression est obtenue par la torsion du manchon sur lui-même entre deux mâchoires. Les extrémités du conducteur, emprisonnées dans le manchon, se trouvent ainsi soumises à une pression considérable et permanente, car le métal du manchon, écroui par la torsion, ne peut se desserrer dans la suite (fig. 5).

Des essais effectués sur un câble d'aluminium de 600 mm² de section, jonctionné par un manchon de

Fig. 5

1 m de longueur et de 3,5 mm d'épaisseur et parcouru par un courant de 1 500 A ont montré : 1° que l'élévation de température moyenne du joint était sensiblement

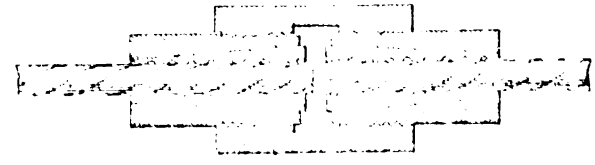


Fig. 6. — Jonction d'un gros câble par manchon mécanique. Nourrice de 500 mm² du Nord-Sud.

inférieure à celle du câble (23° au lieu de 50°); 2° que la chute de tension dans le joint était inférieure à la moitié de la chute de tension dans une longueur égale

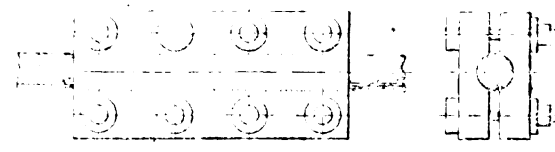


Fig. 7. — Jonction d'un gros câble par une éclisse.

de conducteur, ce qui indique que la résistance électrique du joint est inférieure à celle de la même longueur de conducteur. Enfin, aux essais de traction, la rupture s'est toujours produite en dehors du joint.

Digitized by Google

Les figures 6 et 7 montrent des jonctions par manchon mécanique et par éclisse.

Rappelons qu'en aucun cas, et quel que soit le métal employé, la jonction des lignes aériennes ne doit se faire par soudure, cette opération modifiant complètement les propriétés mécaniques du métal.

Lorsque la jonction doit être faite entre des conducteurs de métaux différents, on pourrait avoir à craindre les phénomènes thermiques dus à l'effet Peltier ou les phénomènes chimiques dus à la présence accidentelle d'un électrolyte, mais l'effet Peltier est masqué par l'effet Joule et les actions électrolytiques, qui ne risquent de se produire que dans des cas très rares, par exemple dans les salles d'accumulateurs, peuvent être facilement évitées en mettant les surfaces de contact, généralement aluminium-cuivre ou aluminium-fer, à l'abri des actions extérieures par l'apposition de quelques couches de peinture, de bitume ou de vernis. L'étamage ou la galvanisation du cuivre diminue les actions thermo-électrique et électrolytique.

b. Connexions intérieures. — Les connexions intérieures à grande intensité sont presque toujours constituées par des conducteurs massifs ronds, rectangulaires ou profilés. Quand il s'agit de courant alternatif, on sait que l'on a intérêt à diminuer la section par l'emploi de plusieurs conducteurs en parallèle, tant pour réduire l'effet Kelvin, l'échauffement et la réactance que pour diminuer le nombre des joints et en faciliter la confection. Il est donc bon de ne pas employer des barres rondes de plus de 40 mm de diamètre ou des barres rectangulaires de plus de 10 mm à 12 mm d'épaisseur, de constituer celles-ci en paquets et d'isoler ces paquets entre eux.

Les barres profilées sont employées lorsqu'il y a à craindre des efforts d'attraction accidentels entre lignes parcourues par des courants intenses. Signalons à ce propos que la rigidité d'une barre d'aluminium est, en raison de sa faible densité, supérieure à celle d'une barre de cuivre de même section, ce qui peut présenter un sérieux intérêt dans certaines installations.

Rappelons que le poids des conducteurs d'aluminium pour connexions intérieures peut, en général, être déterminé, par rapport au cuivre, par la condition d'égalité d'échauffement, ce qui donne un poids d'aluminium égal à 43 pour 100 du poids du cuivre. Cette différence correspond, contrairement à ce qui se passe dans les lignes aériennes, à une économie assez sensible dans l'établissement des supports. C'est donc dans ce genre d'installations que l'emploi de l'aluminium fait réaliser, par rapport au cuivre, le maximum d'économie.

La *fixation* des barres de fours et de tableaux ne demande pas de précautions spéciales. Tous les dispositifs utilisés pour le cuivre donnent satisfaction. Tout au plus pourrait-on redouter quelque action électrochimique au contact des supports ou des boulons en bronze, en acier ou en fonte, mais il faut un concours de circonstances tellement exceptionnelles pour constater une altération qu'il est à peine besoin de recommander d'enduire de peinture les surfaces de métaux étrangers à mettre en contact, ce qui est une mesure de protection très suffisante.

La *jonction* des barres se fait par serrage, avec un plein succès, d'après les principes exposés plus haut : surface de contact égale à 8 ou 10 fois la section, nettoyage et dressage préalable des surfaces de contact, serrage énergique avec des boulons étamés ou des

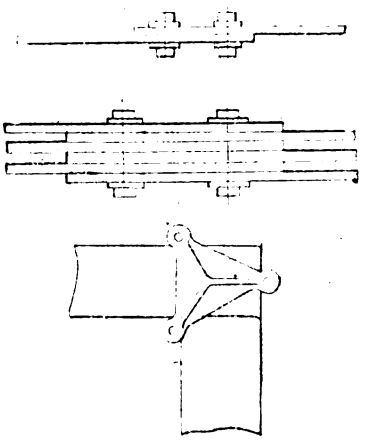


Fig. 8, 9 et 10.

mâchoires (fig. 8, 9 et 10). S'il s'agit de barres épaisses, une bonne précaution consiste dans l'addition d'un étrier formant pont et assurant un meilleur passage du courant d'une barre à l'autre (fig. 11).

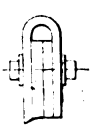


Fig. 11.

La *jonction par soudure* des conducteurs massifs est rarement une nécessité. Il est cependant intéressant de la réaliser dans certains cas. On procède alors par soudure autogène, mais en prenant soin d'éliminer l'oxyde irréductible qui se forme sous l'effet de la chaleur et qui s'interpose entre les surfaces à réunir. Cette élimination s'obtient soit en exerçant entre les surfaces à souder une compression qui rompt la pellicule d'alumine, soit en ajoutant des fondants ayant pour but de détruire l'alumine au fur et à mesure de sa formation. Un bon fondant ne doit pas introduire de métal étranger pour les raisons que l'on connaît. Il existe dans le commerce un assez grand nombre de ces produits dont quelques-uns donnent d'excellents résultats et avec lesquels les ouvriers spécialistes effectuent des soudures d'aluminium absolument parfaites.

Lorsqu'il s'agit de fixer par la soudure des extrémités de conducteurs d'aluminium dans des cosses d'aluminium ou de cuivre, il faut recourir à l'interposition d'un métal étranger comme l'étain, le nickel ou l'argent ou

Digitized by Google

d'un alliage composé d'étain (2 parties), de zinc (1 partie) avec un peu de cadmium ou d'aluminium. Les surfaces du conducteur et de la cosse, préalablement nettoyées, sont étamées, nickelées ou argentées, puis soudées entre elles par interposition du métal. Ce n'est pas là une véritable soudure, mais une sorte de collage métallique

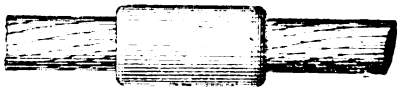


Fig. 12. — Joint moulé.

qui ne peut évidemment subir aucun effort mécanique et qui doit être mis à l'abri des actions chimiques par une couche de peinture.

Enfin on assure quelquefois, avec le même succès, la jonction des conducteurs électriques à l'aide de joints moulés constitués par un bloc d'aluminium fondu dans

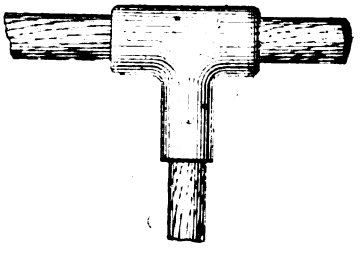


Fig. 13. — Raccordement moulé.

des moules en terre ou en plombagine, préalablement confectionnés autour des pièces à réunir (fig. 12, 13).

8. **Câbles isolés et armés en aluminium.** — J'aurai peu de choses à dire des câbles isolés et armés en aluminium car leur fabrication et leur utilisation ne présentent aucune difficulté technique. La question d'emploi de l'aluminium dans ces câbles est ici un simple problème d'ordre économique. Dans certains cas, le bénéfice brut réalisé par l'emploi de l'aluminium sera absorbé en totalité ou en partie par l'excédent d'isolant ou d'armature nécessité par le plus grand diamètre. Dans d'autres, au contraire, le plus grand diamètre permettra de diminuer l'épaisseur de l'isolant et d'augmenter le bénéfice brut.

Il est d'autant plus difficile de donner une formule générale que les types sont innombrables et qu'il y a à tenir compte de la fluctuation des cours de toutes les matières entrant dans la fabrication : caoutchouc, toile, papier, acier, plomb, etc. Il est cependant évident que l'avantage de l'aluminium ressortira d'autant plus que les sections seront plus grandes et l'importance des matières isolantes plus faible. A l'époque où le rapport du prix de l'aluminium au prix du cuivre était de 1,25, on estimait, pour les conducteurs à basse tension, que l'emploi de l'aluminium procurait une économie allant de 15 pour 100 pour les sections de 50 mm² à 30 pour 100 pour les sections de 1 000 mm².

Dans les câbles à haute tension, on sait que pour une tension donnée et un isolant donné, déterminé par sa rigidité diélectrique, il y a, à égalité de fatigue, une valeur du rayon du conducteur qui rend minimum le diamètre total sous plomb, c'est-à-dire le prix de revient du câble. A ce point de vue, l'aluminium se place, dans de nombreux cas, par son plus grand diamètre, dans une situation plus favorable que le cuivre. C'est ainsi que sur la ligne de traction Dessau-Bitterfeld on a installé, pour la distribution monophasée à 60 000 v, un câble à un seul conducteur de 6,5 mm de diamètre recouvert d'une couche de papier imprégné de 13 mm d'épaisseur. L'intensité du champ électrique à la surface de ce conducteur est de 4 200 v efficaces par millimètre; l'intensité du champ à la surface du conducteur de cuivre équivalent (4,75 mm de diamètre) eût été de 4 790 v efficaces, ce qui eût nécessité un isolant de 16,7 mm, portant le diamètre sous plomb de 39 mm à 42,9 mm. Cet exemple donne une idée sommaire de la façon dont se présente le problème pour les câbles à haute tension.

En tout cas, la fabrication des conducteurs isolés en aluminium prend une importance de plus en plus considérable. Il n'est plus de fabricant de câbles qui ne puisse livrer couramment des câbles d'aluminium avec les mêmes garanties de fonctionnement, de conservation et de résistance aux essais que les câbles de cuivre, et les exploitations qui ont adopté les câbles d'aluminium sont déjà très nombreuses : les Tramways de Copenhague, la Compagnie génevoise de Tramways électriques, les Tramways de Lausanne, les Tramways de Nuremberg, les Chemins de fer nogentais, la Compagnie des Omnibus de Paris, les Chemins de fer vicinaux de Belgique, le Métropolitain de Londres, le Département électrique de Manchester, celui de Bolton, ainsi que de nombreuses mines anglaises qui ont adopté les câbles d'aluminium dans les travaux souterrains.

La confection des joints et des raccords nécessite une attention particulière pour les raisons déjà données. Les manchons de raccordement doivent être à grande

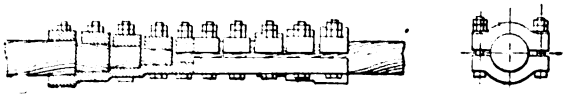


Fig. 14.

surface et à fort serrage. Un bon dispositif consiste à intéresser tous les torons au serrage en découpant en gradins l'extrémité du câble et en serrant séparément chacun des torons sur la partie inférieure du manchon (fig. 14).

9. **Autres applications de l'aluminium.** — Dans la distribution de l'énergie, c'est la canalisation, c'est-à-dire l'organe de transmission du courant entre les différentes parties de la distribution, qui est l'élément le

Digitized by Google

plus important de l'installation, au point de vue technique comme au point de vue financier, et celui qui absorbe le plus de métal conducteur. C'est pourquoi j'ai cru devoir insister aussi longuement sur l'emploi de l'aluminium dans les canalisations électriques. Mais l'aluminium peut encore se substituer au cuivre dans bien d'autres éléments de l'industrie de l'électricité.

Dans la *construction des machines électriques*, l'aluminium a déjà pris une place importante en faisant réaliser une économie sensible dans le prix de revient sans que le fonctionnemet en soit altéré.

Dans tous les enroulements où la différence de potentiel maximum entre spires adjacentes reste inférieure à 1 v, c'est-à-dire dans les bobines de télégraphie, de téléphonie, de disjoncteurs, dans les petits inducteurs, etc., le fil d'aluminium nu, recouvert artificiellement d'une pellicule d'oxyde extrêmement mince et parfaitement adhérente, peut remplacer avec succès et économie le fil de cuivre isolé au coton ou à la soie et même le fil de cuivre émaillé. Si l'on arrivait à donner à la couche d'oxyde une plus grande valeur isolante, et il serait intéressant de faire des recherches dans ce sens, l'aluminium oxydé pourrait se substituer, dans tous les cas, au cuivre émaillé. Rien d'ailleurs ne semble s'opposer à l'émaillage de l'aluminium lui-même.

Dans les bobines inductrices en métal nu des alternateurs à pôle tournant, l'aluminium peut remplacer avec avantage le cuivre, partout où l'on dispose de place suffisante, c'est-à-dire dans tous les alternateurs à 25 p:sec et dans beaucoup d'alternateurs à 50 p:sec. Il y a non seulement économie de métal, mais encore réduction importante de la force centrifuge. Il peut aussi le remplacer dans les inducteurs série de dynamos à courant continu, dans les inducteurs en dérivation de grandes dimensions dans la construction des carcasses, dans les enroulements de transformateurs, dans les bobines de self-induction et dans les rotors de moteurs asynchrones en court-circuit. Dans les induits, l'emploi de l'aluminium n'a pas encore été essayé, mais d'après M. Bunet, il serait loin d'être impossible et il y aurait intérêt à faire, dans chaque cas, l'étude comparée des deux métaux. Une seule objection proviendrait de la difficulté de soudure des sections, mais il ne serait pas impossible d'y remédier par le cuivrage des extrémités de sections.

L'aluminium pur n'est pas assez dur pour être employé dans la construction des collecteurs et des bagues collectrices, mais on pourrait attendre un bon résultat de l'emploi des bronzes d'aluminium ou du duralumin.

Enfin l'emploi de l'aluminium embouti ou fondu est tout désigné pour la fabrication des barres d'archet, des porte-balais, des bagues de graissage, des couvercles, des plaques indicatrices et, dans l'industrie de l'éclairage, pour la fabrication des douilles et culots de lampe, des abat-jour, des tubes pour loger les fils d'éclairage dans les habitations, des cosses, des pièces d'interrupteurs, de coupe-circuit, des conducteurs de paratonnerre, etc.

10. **Conséquences économiques de l'emploi de l'aluminium.** — Je ne devrais pas terminer cette communication sans dire quelques mots des conséquences économiques de l'emploi de l'aluminium, mais dans les conjonctures actuelles, avec les cours de guerre absolument anormaux que nous subissons, il n'y a pas de comparaison d'ordre économique possible entre le cuivre et l'aluminium. Avant la guerre, au cours moyen de 3,10 fr le kg pour l'aluminium, et de 2,25 fr pour le cuivre, l'économie brute était de 30 pour 100 à égalité de conductibilité et de 40 pour 100 à égalité d'échauffement. Que deviendront les cours du métal en lingots et que seront les frais d'usinage lorsque le calme se sera rétabli? Il est impossible de le dire. On peut simplement prévoir que, si la consommation d'aluminium n'a jamais été suffisante jusqu'à maintenant pour influencer le prix du cuivre, il pourrait bien ne pas en être de même dans l'avenir et qu'il s'établira, entre les cours des métaux, un état voisin de l'équilibre économique.

On peut prévoir également une grande amélioration du fait de la meilleure utilisation des déchets et de la création d'un marché du vieil aluminium analogue au marché du vieux cuivre. Ainsi disparaîtra la préoccupation de nombreux ingénieurs au sujet de la valeur commerciale de l'aluminium usagé, préoccupation qui se traduisait soit par le renoncement pur et simple à l'emploi de ce métal, soit, dans les meilleurs cas, par un amortissement plus rapide des ouvrages en aluminium affectant d'une façon exagérée et d'ailleurs injustifiée l'économie initiale.

11. **Conclusion.** — Messieurs, en terminant cette trop longue communication, je résume en quelques mots les considérations qui l'ont inspirée.

Les conséquences de la terrible guerre que nous subissons depuis quatre ans et demi placent notre pays, malgré la victoire splendide qui vient de couronner ses sanglants sacrifices, devant une situation économique dont la gravité exigera de nous, non seulement le maximum d'énergie et d'activité dans l'effort de régénération, mais encore le maximum de solidarité patriotique et d'union nationale dans les moyens.

Solidarité et union dans le développement de la production nationale, solidarité et union dans le développement de la consommation nationale, telle est la formule régénératrice dont nous devons nous inspirer, dans notre vie de demain, pour relever rapidement les ruines accumulées et pour rendre à notre pays sa fortune nationale, sa prospérité et sa puissance industrielles.

Du côté des producteurs, faire litière de tout individualisme et mettre en commun les efforts professionnels, autrefois trop dispersés, pour développer et perfectionner sans cesse les produits de notre sol. Du côté des consommateurs, sans adopter la formule égoïste et fanatique de nos ennemis qui, dans un catéchisme répandu à des millions d'exemplaires, se résumait dans cette phrase : « demeure bien convaincu, quoi qu'on

Digitized by Google

puisse dire que les meilleurs produits, les seuls dignes d'un citoyen de la grande Allemagne, sont les produits allemands », sans recourir ainsi à un absurde boycottage des produits étrangers, du moins faire preuve de moins d'indifférence, de plus de confiance en nos produits et leur donner la préférence toutes les fois qu'ils peuvent se substituer techniquement et économiquement aux produits étrangers.

Si nos constructeurs et nos exploitants, les plus puissants comme les plus modestes, car c'est la réunion des actions individuelles qui fait la grandeur des résultats, veulent bien se souvenir de ce que j'ai dit ce soir de l'aluminium, produit français, opposé au cuivre, produit étranger, ils trouveront maintes fois l'occasion, à la fois, de faire un excellent calcul et de participer, dans leur sphère, à l'œuvre de régénération.

E. Dusaugey,
Ingénieur civil des Mines.

Prime au personnel sur les économies de charbon dans une centrale électrique thermique

En montrant, avec chiffres à l'appui, combien peut varier le rendement calorifique ou la consommation de charbon par kilowatt-heure produit, l'auteur arrive à cette conclusion qu'il est illusoire de chercher à établir un système de primes en faisant état d'un élément aussi incertain que la dépense de combustible, ainsi que le préconisait M. L. Conge dans un article publié dans la « Revue générale de l'électricité », 31 août 1918, t. IV, p. 319. Un moyen plus rationnel pour se rendre compte de l'utilisation du charbon et, par conséquent, pour établir un système de primes, consisterait plutôt dans le contrôle méthodique et scientifique de la chauffe. L'auteur décrit les appareils de contrôle qu'il conviendrait d'employer et la manière dont il faudrait utiliser leurs indications pour l'établissement des gratifications.

Pour se rendre compte de l'utilisation du charbon et instituer un système de primes pour le personnel d'une centrale, la première idée qui se présente à l'esprit est de chiffrer la dépense de charbon par kilowatt-heure.

Toutefois, comme très souvent, surtout depuis la guerre, on brûle, à intervalles de temps très courts, des charbons extrêmements différents comme composition chimique, structure physique, pouvoir calorifique et teneur en matières inertes, il est nécessaire d'éliminer la qualité du charbon brûlé, en chiffrant le nombre de calories dépensé par kilowatt-heure produit.

Suivant les installations considérées, il peut être plus ou moins facile d'obtenir avec une approximation suffisante le nombre de calories contenues dans le charbon consommé. Son obtention est un cas d'espèce à examiner pour chaque usine en particulier, et dépend de l'appareillage installé et des méthodes plus ou moins scientifiques qui ont présidé à l'aménagement des chaufferies et des laboratoires.

Ne voulant pas examiner momentanément cette question, nous allons passer à l'examen des causes qui s'opposent à ce que le nombre de calories par kilowatt-heure produit, soit pris tel quel comme caractérisant la façon dont le personnel s'est acquitté de sa tâche.

De nombreuses causes, indépendantes de la volonté du personnel, influent sur le rendement général chiffré par ce nombre de calories par kilowatt-heure.

Dans les installations dont le diagramme de charge est relativement constant et régulier, et pour lesquelles il est fait usage de combustibles sensiblement les mêmes, les variations de rendement ne sont fonction que de la façon dont la marche de la centrale est conduite. M. L. Conge, chef du Service électrique de la poudrerie de Saint-Médard, a fait paraître, dans le numéro du 31 août 1918, une étude sur un système de primes applicable dans ce cas.

Mais lorsque le régime est variable, lorsque la centrale est, en particulier, destinée à fournir l'appoint à un réseau dont la plus grosse puissance est fournie par des usines hydrauliques insuffisantes, lorsqu'elle utilise des combustibles très variables, il n'est plus permis de négliger les causes qui, indépendamment de la volonté du personnel, font varier le rendement calorifique.

Variations du rendement calorifique. — Les variations du rendement calorifique, ou de la consommation de charbon par kilowatt-heure sont dues à trois causes principales :

1° Les variations de la charge;
2° Les différentes qualités du charbon;
3° Les variations de la température extérieure.

A. — *Les variations de charge* entraînent :
1° Des arrêts et allumages de chaudières;
2° Des mises de chaudières en réserve;
3° Des changements de machine pour prendre des unités de puissance appropriée;
4° Des variations de rendement des turbo-alternateurs.

B. — *Les qualités différentes du charbon* entraînent :
1° Des variations du rendement calorifique des chaudières;
2° Des variations du rendement des turbo-alternateurs, par variation de la surchauffe;
3° Des variations de rendement des turbo-alternateurs par variation de pression.

C. — *Les variations de la température extérieure* entraînent une variation de température de l'eau de

Digitized by Google

refroidissement du condenseur, et par suite une variation de rendement du turbo.

Nous allons examiner successivement l'effet de ces différentes causes :

1° Allumage de nouvelles chaudières. — L'allumage de nouvelles chaudières peut être le résultat d'une avarie à l'une de celles en service, ou de la nécessité d'une augmentation du nombre de celles en service.

Dans le premier cas, si tout le personnel est intéressé, y compris l'équipe d'entretien, il n'y a pas lieu de défalquer de la consommation le charbon ainsi employé.

Dans le deuxième cas, la cause étant indépendante du personnel, il y a lieu de déduire les quantités de charbon correspondantes, en établissant, une fois pour toutes, un chiffre moyen pour une mise en feu.

(Dans le cas qui nous occupe, pour des chaudières Babcock et Wilcox à grilles automatiques, de 170 m² de surface de chauffe, il faut compter 1 000 à 1 250 kg.)

2° Chaudières en réserve. — La mise en réserve est occasionnée par une diminution de peu de durée de la puissance à fournir. En comptant une dépense de 50 à 75 kg : h, pour ces mêmes chaudières, le nombre d'heures de mise en réserve, atteignant rarement douze heures, il semble qu'à moins de cas spéciaux, on puisse ne pas en tenir compte.

3° Changement de machine. — Le changement de machine est nécessité par la recherche du meilleur rendement des groupes en service.

Un groupe turbo de 3 000 kv-a, qui demande environ une heure pour la mise en route, consomme 3 000 kg de vapeur à la pression de 14,5 kg : cm² et à la température de 300° C. Si l'on admet une vaporisation moyenne de 6 kg, il faut compter 500 kg de charbon. L'énergie dépensée par les services auxiliaires de ce groupe, pendant ce temps, correspond à environ 150 kg de charbon, ce qui porte la dépense totale à environ 650 kg.

4° Rendement des turbos en fonction de la charge. — L'usine considérée possède des groupes de 2 000 et de 3 000 kv-a.

Charbon nécessaire en kg : kw-h.

Groupe de 2 000 k-va.		Groupe de 3 000 k-va.
Pleine charge :	6,00 kg	5,5 kg
3/4	6,25	5,75
1/2	6,75	6,25
1/4	8,5	7,5

de vapeur, à $\cos \varphi = 0{,}8$.

Entre les extrêmes, le nombre de calories varie dans le rapport $\frac{550}{850}$, soit de 35 pour 100.

Il est de toute évidence que, lorsqu'il s'agit de chiffrer des économies qui ne dépasseront pas 5 à 10 pour 100, on ne peut négliger un facteur de cette importance.

Il faut remarquer cependant que la marche normale des groupes est, en général, voisine des 3/4 de charge et que les fluctuations ont lieu entre la 1/2 et la pleine charge ; elles sont donc de l'ordre de $\frac{675 - 550}{675} =$ environ 20 pour 100, soit ± 10 pour 100 sur la consommation correspondant à la marche le plus souvent adoptée et qui devrait servir de base à l'établissement de la prime.

5° Rendement calorifique des chaufferies. — Le rendement calorifique du foyer dépend en grande partie de l'habileté du chauffeur, principalement dans les foyers à chargement à main et même avec les foyers à chargement automatique, puisque le chauffeur y dispose de l'épaisseur de la couche de charbon, de la vitesse de la grille et de l'admission d'air ; mais il dépend également de la qualité de charbon, car, avec de mauvais charbons, la combustion est difficile, se fait à température relativement basse et avec excès d'air pour faciliter le contact avec l'oxygène (malgré toute l'habileté du chauffeur).

Etudions la variation du rendement calorifique du foyer, suivant l'allure de la combustion, avec des charbons de même pouvoir calorifique, mais dont les qualités physiques permettent d'obtenir une bonne ou seulement une mauvaise combustion.

Prenons des charbons donnant à l'analyse :

Matières.	Centièmes.	Matières.	Centièmes.
Carbone.	54,5	Carbone.....	52,3
Hydrogène ...	8	Matières volatiles.	10,2
Cendres.....	34,5	Cendres	34,5
Humidité	3	Humidité	3

Ces charbons donnent :

1° Formule de Dulong modifiée par Malher : P. C. = (111, 4 × 54,5) + (8 × 375) − 3000 = 6075 c ;

2° Formule de Goutal : P. C. = (52,3 × 82) + 114,4 × 16,3 = 6150 c.

Soit 6 100 calories par kilogramme.

Combustion théorique.

$$C + O^2 = CO^2 \qquad H^2 + O = H^2O,$$
$$12 + 32 = 44 \qquad 2 + 16 = 18,$$

1 kg de ces charbons nécessite donc :

Pour brûler le carbone

$$\frac{32 \times 0{,}545}{12} = 1{,}455 \text{ kg d'oxygène}$$

et pour brûler l'hydrogène

$$\frac{16 \times 0{,}08}{2} = 0{,}640 \text{ kg d'oxygène},$$

soit au total 2,095 kg d'oxygène.

Et en volume (à 0° et 76 cm)

$$\frac{2{,}095}{1{,}43} = 1{,}465 \text{ m}^3,$$

dont 1,017 m³ pour le carbone et 0,448 m³ pour l'hydrogène.

Digitized by Google

Le *volume d'air* correspondant :

$$\frac{100 \times 1{,}465}{21} = 7 \text{ m}^3,$$

et renferme

1,465 m³ d'oxygène

et

5,535 m³ d'azote.

Les *gaz de la combustion* contiennent :

Az = 5,535 m³

CO^2 = 1,017 (même volume que l'oxygène nécessaire à sa combustion).

(Vapeur) H^2O = 0,896 (2 fois le volume d'hydrogène).

En ne tenant pas compte de H^2O qui se condense, la proportion de CO^2 en volume, dans les gaz de la combustion, serait de

$$\frac{1{,}017}{5{,}535 + 1{,}017} = 15{,}4 \text{ pour } 100,$$

sans oxygène en excès.

Combustion pratique. — En réalité, comme sans supplément d'air il n'y aurait pas, dans les foyers industriels, combustion complète, il faut introduire un supplément d'air naturellement aussi faible que possible.

Les résultats industriels courants sont caractérisés par la présence, dans les produits de la combustion qui sont évacués à la cheminée, d'une proportion de CO^2 qui varie entre 6 et 13 pour 100.

Nous allons rechercher la qualité et la teneur en calories des gaz de la combustion, dans les deux cas extrêmes, en considérant que les charbons désignés ci-dessus sont bien brûlés, mais avec proportion d'oxygène en excès différente, suivant leur aptitude à la combustion.

Premier cas. — Charbon donnant 13 pour 100 de CO^2. — P. C. = 6 100 calories par kilogramme.

Nous avons vu qu'un kilogramme de charbon donne :

En volume CO^2 = 1,017 m³,

ce qui donne comme volume total des gaz de la combustion

$$\frac{100 \times 1{,}017}{13} = 7{,}820 \text{ m}^3 \ (H^2O \text{ condensé}),$$

qui se décomposent ainsi :

CO^2 = 1,017 } comme dans la com-
Az = 5,535 } bustion théorique,
Air supplémentaire = 1,268
Total = 7,820.

et H^2O = 0,896 provenant de la combustion de l'hydrogène qui, se condensant, n'entre pas dans le pourcentage de CO^2 donné par l'analyse.

Le volume d'air théorique étant 7 m³, le volume d'air total est 7 + 1,268 = 8,268.

Le volume d'air en excès $= \frac{1{,}268}{8{,}268} = 15$ pour 100

Nous supposons que :

L'air ambiant est à 15° ;

Les gaz sont évacués à la sortie des économiseurs à 150° ;

La chaleur spécifique pour Az et l'air est 0,311 à pression constante (ce que l'on peut admettre), et pour CO^2, 0,407.

On évacue à la cheminée :

Par l'air et l'azote : 6,803 × 0,311 (150 — 15) = 287 calories ;

Par le CO^2 : 1,017 × 0,407 × (150 — 15) = 56 calories ;

Par l'eau d'humidité (0,030 kg) et l'eau de combustion de l'hydrogène (0,072 kg), soit 0,102 kg : 0,102 (606,5 + 0,305 t) + 0,45 T.

$$t = 100 - 15 = 85°,$$
$$T = 150 - 100 = 50°,$$

ce qui donne

$$0{,}102\ (606{,}5 + 0{,}305 \times 85) + 0{,}45 \times 50 = 87 \text{ calories.}$$

Total des calories évacuées à la cheminée :

$$287 + 56 + 87 = 430 \text{ calories.}$$

Le kilogramme de charbon contenant 6 100 calories, les pertes en centièmes sont de

$$\frac{430}{6\ 100} = 7 \text{ pour } 100.$$

Deuxième cas. — Charbon donnant 6 pour 100 de CO^2. — P. C. = 6 100 calories par kilogramme.

Comme précédemment :

Volume de CO^2 = 1,017 m³, ce qui donne comme volume total de la combustion

$$\frac{100 \times 1{,}017}{6} = 16{,}950 \text{ m}^3 \ (H^2O \text{ condensé}),$$

qui se décomposent ainsi :

CO^2 = 1,017
Az = 5,535
Air supplémentaire = 10,398
Total = 16,950 m³.

et H^2O = 0,896 comme précédemment.

Le volume d'air total est

$$7 + 10{,}398 = 17{,}398 \text{ m}^3.$$

Le volume d'air en excès

$$\frac{10\ 398}{17\ 398} = 60 \text{ pour } 100.$$

Digitized by Google

On évacue à la cheminée, par rapport au cas précédent, 10,398 — 1,268 = 9,130 m³ d'air en supplément, soit 9,130 × 0,311 × (150 — 15) = 384 calories supplémentaires et au total 430 + 384 = 814 calories.

Les pertes en pour 100 sont

$$\frac{814}{6\ 100} = 13{,}35 \text{ pour } 100.$$

Conclusion. — Avec des charbons donnant à l'analyse des pouvoirs calorifiques égaux, mais de qualités physiques différentes, avec même température d'évacuation des gaz à la cheminée, la variation de rendement du foyer en calories est de 13,35 — 7 = 6,35 pour 100.

Il y aurait encore lieu de tenir compte de l'augmentation des pertes par rayonnement, par suite de la mise en feu d'un plus grand nombre de chaudières pour une même puissance, lorsqu'on emploie du charbon dont la combustion est difficile, la capacité des chaudières en eau vaporisée par heure étant fortement diminuée.

6° Rendement des turbos suivant la surchauffe. — Il nous est arrivé, avec de mauvais charbons en poussiers, de ne pouvoir tenir une pression de plus de 10 kg : cm² avec 250° de surchauffe.

Or, les turbines du genre de celles que nous utilisons, de la puissance de 2000 à 3000 kw, ont une consommation qui varie de 1 pour 100 pour 6° de surchauffe aux environs de 230° à 300°.

Si la consommation était de 6,5 kg : kw-h à 300°, elle passe à 7,04 kg : hw-h à 250°.

1 kg de vapeur à la pression de 14,5 kg : cm² produit par une eau d'alimentation à 15° contient à 300° : 708 calories et à 250° : 686 calories.

La dépense en calories passe donc de 708 calories × 6,5 = 4602 calories à 686 × 7,04 = 4829 calories et augmente de 5 pour 100.

C'est d'ailleurs ce qu'aurait fait prévoir l'étude du rendement calorifique dans les deux cas : $\left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$ qui passe de 0,46 à 0,40 pour une température constante au condenseur de 40°.

7° Rendement des turbos suivant la pression. — Pour une chute de pression de 14,5 kg : cm² à 10 kg : cm², la consommation augmente de 0,35 kg : kw h à pleine charge.

Si la consommation était de 6 kg : kw-h à 14,5 kg : cm² et 200°, elle passe à 6,35 kg : kw-h à 10 kg : cm² et 250°.

Le dépense en calories passe donc de 686 × 6 = 4116 calories à 688,5 × 6,35 = 4356 calories. Elle augmente de 5,8 pour 100.

Comme une chute de surchauffe accompagne toujours une chute de pression, nous constatons que, dans ce cas, la porte totale est de 11 à 12 pour 100.

8° — Rendement des turbos suivant la température au condenseur. — Les variations de rendement sont de 5 pour 100 pour des variations de température de 15° à 40° à la sortie du condenseur.

Conclusions. — Il ressort de cette étude, qu'en négligeant les causes accessoires de la variation de consommation en kilogrammes par kilowatt-heure (allumages, mises en réserve, changements de machines), il existe entre les deux états de marche extrêmes suivants :

1° marche à pleine charge, avec bon charbon et bonne combustion (13 pour 100 CO^2), surchauffe 300°, pression 14,5 kg : cm² en hiver ;

2° marche à demi-charge, avec charbons moyens courants donnant au maximum 6 pour 100 de CO^2 (bien que donnant, à l'analyse, un pouvoir calorifique presque identique aux charbons précédents), surchauffe 275°, pression 12 kg : cm² en été,

une différence de consommation de :

18,5 pour 100 par réduction de la charge ;

7 pour 100 par augmentation de pertes à la cheminée ;

5 pour 100 par diminution de pression et surchauffe ;

5 pour 100 par augmentation de la température au condenseur ;

soit au total : 35 pour 100.

Les écarts considérés se produisent très couramment dans certaines centrales, puisque je ne fais varier la surchauffe que de 300° à 275°, la pression de 14,5 à 12 kg : cm², le pourcentage de CO^2, de 13 à 6 pour 100, et la charge de 1 à 1/2.

On m'objectera que, pratiquement, toutes ces causes de variations s'ajoutent rarement dans le même sens, et qu'on obtient en général des moyennes de consommation sensiblement constantes, même avec des charbons variables et des charges différentes, et nous avons obtenu nous-mêmes les résultats suivants :

Moyen charbon, tout venant, P. C. = 7350 calories, à 22 pour 100 de cendres ;

Consommation, 1,13 kg : kw-h, soit 8 300 calories ;

Très bon charbon, grains lavés, P. C. = 8 100 calories, à 10 pour 100 de cendres ;

Consommation, 1 kg : kw-h, soit 8 100 calories.

Malgré cette constance apparente, il est absolument illogique de vouloir imputer à la main-d'œuvre les variations qu'on pourra observer dans un sens ou dans l'autre.

D'autre part, en dehors des causes techniques que nous venons d'étudier, il est des causes d'ordre pratique qui s'opposent à l'établissement d'une prime basée sur le nombre de calories par kilowatt-heure, au moins dans la majorité des cas.

L'obtention du nombre de calories dépensé par kilowatt-heure nécessite, dans un temps déterminé, et assez long, pour avoir des moyennes éliminant les petites causes d'erreur :

1° L'enregistrement de l'énergie produite en kilowatts-heure ;

2° Le poids total du charbon brûlé en kilogrammes ;

3° Le nombre de calories à affecter par kilogramme aux quantités employées journellement.

Digitized by Google

1° L'enregistrement de l'énergie produite est obtenue par les compteurs, et peut être considéré comme exact, sans tenir compte de l'erreur possible du compteur, puisqu'il s'agit d'obtenir des résultats comparatifs, et sans tenir compte de la variation de l'erreur du compteur aux différentes charges, parce que cette erreur est, en général faible, et surtout parce qu'il serait très difficile, industriellement, d'en tenir compte.

2° En général, le pesage du charbon n'est pas automatique et s'effectue par le passage à la bascule des wagonnets, ou bien par le pesage d'un certain nombre de wagonnets seulement afin d'obtenir une moyenne, ou bien encore, par le pesage, une fois pour toutes, d'un wagonnet dont le chargement a été réglé.

On obtient un poids, plus ou moins exact, mais qui pourrait être acceptable, surtout avec la première méthode de pesage, si toutes ces opérations n'étaient pas faites, soit par le personnel de la centrale, lui-même, soit par du personnel différent, mais avec lequel l'accord est facile.

Il faut donc éviter, soit par le choix du personnel, soit par des appareils enregistreurs, qu'il ne soit monté aux chaufferies plus de charbon qu'il n'en est compté.

3° La détermination du nombre de calories par kilogramme de charbon est faite, sur des prélèvements moyens, par analyse.

Les prélèvements doivent être faits aux parcs ou en cours de manutention, car on peut avoir dans les silos ou les trémies de chargement des chaudières des mélanges, lorsque la qualité de certains charbons y oblige.

Chacun sait combien ces prélèvements demandent de soins si on veut obtenir, à peu près, avec un nombre restreint d'analyses, le pouvoir calorifique d'un charbon. Ceci a d'autant plus d'importance, dans le cas qui nous occupe, que le chiffre moyen ainsi obtenu est appliqué à de grosses quantités, et qu'une erreur, même de 5 pour 100, est de l'ordre du pourcentage d'économies, qu'on cherche à obtenir.

Il est également très difficile, pour l'exécution de ces prélèvements, d'éviter le truquage et l'entente.

Quant aux analyses, rarement faites suivant les règles, souvent avec un matériel défectueux, et par du personnel inexpérimenté auquel on impose des règles fixes, quelle que soit la qualité du charbon, alors qu'il faudrait suivre de très près l'élimination des matières volatiles, il est difficile de les admettre comme base d'un système, les erreurs qu'elles entraînent étant également supérieures au pourcentage d'économies recherché.

Là aussi, il faut se garantir contre l'entente entre le personnel.

Primes basées sur le contrôle de la chauffe. — L'exposé précédent nous conduit à abandonner, comme base d'un système de primes, le nombre de calories ou la dépense de charbon par kilowatt-heure et à préconiser plus efficacement, pour les centrales, comme pour une chaufferie quelconque, le contrôle méthodique et scientifique de la chauffe.

Toute augmentation de production basée sur le rendement humain, doit procéder des principes suivants :

1° Rendre l'effort de l'ouvrier tangible, d'une façon *simple et continue*, *si possible*, afin que l'ouvrier se rende compte qu'à telle façon d'opérer correspond un résultat déterminé, et qu'il puisse ainsi se perfectionner.

2° Établir une relation *simple*, bien définie et portée à *l'avance* à la connaissance de l'ouvrier, entre le *résultat rendu apparent* et le *bénéfice* réalisé par l'ouvrier.

Avec le système précédent, le chauffeur, de qui il s'agit d'obtenir un effort, n'a rien pour se rendre compte directement qu'il utilise bien ou mal le charbon. Il ne peut, sauf en se basant sur ses habitudes, le plus souvent défectueuses, essayer de faire mieux, et, sauf exception, il ne modifiera pas ses habitudes pour s'adapter au genre de foyer qu'il a entre les mains.

Il ignore, en outre, si son effort sera récompensé, et dans quelle proportion, puisqu'il lui faut attendre un temps plus ou moins long, un mois au minimum, qu'on puisse établir des moyennes de consommation

Il serait difficile d'obtenir un effort soutenu et des résultats dans ces conditions.

Si, au contraire, nous lui mettons sous les yeux des appareils enregistreurs, qui lui montreront qu'avec des chargements plus fréquents, dans le cas de foyers ordinaires, ou qu'en modifiant la vitesse de la grille et l'épaisseur de la couche de charbon, dans le cas de grilles mécaniques, il obtient une meilleure combustion, qui, pour lui, parce qu'on le lui aura dit, se traduira par le déplacement d'une aiguille d'enregistreur dans un certain sens, il travaillera à chercher le *maximum d'effet*, tout en produisant le *minimum d'effort*.

S'il a, en outre, sous les yeux un tableau lui donnant le montant de sa prime, en fonction de l'indication de ses appareils de mesure, il travaillera avec confiance, et on en obtiendra le maximum, si les primes ont été judicieusement établies.

Appareils de contrôle. — Pour une chaufferie ordinaire, 3 facteurs sont à considérer :

1° Teneur en CO^2 des gaz de la combustion ;

2° Température des gaz à l'évacuation ;

3° Teneur en coke des cendres.

L'étude de ces trois points est *nécessaire* et *suffisante*.

Pour une centrale, étant donné les variations de rendement, par suite de la diminution de pression et de surchauffe, il est bon d'obliger les chauffeurs à surveiller de très près ces deux facteurs.

De là, la nécessité d'installer :

1° Des analyseurs enregistreurs de CO^2 ;

2° Des thermomètres enregistreurs, à la sortie des économiseurs ;

3° Des enregistreurs de surchauffe ;

4° Des enregistreurs de pression.

Les analyseurs enregistreurs de CO^2 (du système Brenot ou du système « Sarco » qui fournit 20 à 30 analyses à l'heure et les thermomètres enregistreurs des économiseurs seraient installés sur chaque chau-

Digitized by Google

dière, et serviraient directement au chauffeur pour le réglage de ses feux, pour son éducation professionnelle et pour chiffrer son effort personnel.

Les thermomètres enregistreurs de surchauffe et les enregistreurs de pression seraient placés sur les collecteurs généraux d'alimentation, et il en serait tenu compte d'une façon identique pour toute l'équipe de chauffeurs, le chef de chauffe surveillant, à la fois, ses enregistreurs et les appareils individuels de chaque chauffeur.

Il serait fait en outre des prélèvements de cendres et mâchefers, pour déterminer les déchets en coke et il en serait également tenu compte d'une façon uniforme pour toute l'équipe.

Etablissement de la prime. — On établira :

1° Un tableau donnant, pour les qualités de charbon employées, les pertes en calories à la cheminée, en fonction de la teneur en CO^2 et de la température moyenne d'évacuation.

2° Une échelle de primes, en fonction de ces pertes.

On voit de suite que, si l'on établissait une correspondance fixe entre ces deux échelles, lorsque le charbon ne permet pas d'obtenir de hautes teneurs en CO^2, parce qu'il est de mauvaise qualité et brûle difficilement, le personnel touche une prime moindre, alors que la mauvaise qualité du charbon l'oblige à fournir un effort plus grand.

Il est vrai qu'à ce moment, l'usine subit des pertes supplémentaires, et que si l'ouvrier voit sa prime diminuer alors que son travail est plus pénible, il est au contraire avantagé, lorsqu'on brûle de bons charbons, que le travail est plus facile et qu'il touche de fortes primes.

Cependant, il est à prévoir que ce système entraînerait des difficultés, car l'ouvrier ne voit que les résultats journaliers, et il acceptera difficilement de voir sa prime diminuer alors qu'il travaille davantage.

On obvie à cet inconvénient et on évite toute difficulté en faisant varier le point de correspondance de l'échelle des pertes et de l'échelle des primes. Pour cela, on détermine pratiquement, en présence d'un ingénieur de l'usine, pour chaque lot de charbon dont la qualité est très différente du précédent, le maximum de CO^2 et le minimum de pertes qu'on peut obtenir.

Pour de mauvais charbons, on relève alors la prime et pour les bons, on la diminue, en faisant varier le point de correspondance des 2 échelles, de façon que l'ouvrier qui travaillerait parfaitement touche à peu près la même prime dans tous les cas.

De cette façon, la prime attribuée à l'ouvrier est bien fonction seulement de son travail et de son attention, et ne dépend plus de la qualité du charbon qu'il emploie.

En outre de cette prime individuelle, on établit une prime journalière par équipe, basée sur les enregistreurs de pression et de surchauffe, et la teneur en coke, s'il y a lieu.

L'importance relative de cette deuxième prime par rapport à la première est basée sur ce principe, qu'aux mêmes pertes en calories, doivent correspondre, sensiblement, les mêmes primes.

Le maximum des deux primes les plus élevées de chaque tableau sera déterminé par le plus haut salaire consenti aux ouvriers.

Le pourcentage en CO^2 obtenu par chaque chauffeur, les températures et les pressions sont donnés par les moyennes de chaque diagramme dans le temps correspondant.

Les résultats obtenus et les primes correspondantes doivent être affichés le lendemain, ceci afin d'éviter toute contestation et pour permettre une discussion facile, parce qu'immédiate, sur les contestations possibles.

M. Grospaud,
Ingénieur A. et M. et E. S. E. P.,
Société Pyrénéenne d'Energie électrique.

Application de la théorie et de la pratique à la construction des isolateurs de lignes de transmission

Au moment où de longues lignes de transmission à haute tension sont sur le point d'être établies en vue de la reprise de l'activité industrielle dans les régions saccagées par l'ennemi, il nous a paru intéressant de mettre sous les yeux de nos lecteurs une étude sur les isolateurs présentée récemment à l'American Institute of Electrical Engineers (1). *– L'auteur, M. G.-S. Gilchrest, y énumère d'abord les points qui paraissent être les causes principales des claquages en service des isolateurs à tige, puis il discute brièvement chacun d'eux, avec citation de l'opinion des ingénieurs exploitants. Il donne ensuite une courte description de la méthode employée pour déterminer la forme du champ statique autour des isolateurs en porcelaine sous la tension normale en ligne et les modifications qu'on doit apporter aux dessins théoriques, pour les adapter aux exigences de l'exploitation et de la fabrication. Dans la dernière partie, il donne les dessins d'un type proposé d'isolateur industriel qui a été obtenu en amalgamant l'étude théorique et l'étude pratique du problème.*

Introduction. — Tout problème de construction industrielle peut faire l'objet de deux sortes d'études différentes : dans l'une, appelée « théorique », on admet que l'expérience en service, les procédés de fabrication, le prix des matières premières, le prix de la main-d'œuvre, etc., sont considérés comme d'importance secondaire par rapport à la recherche d'un modèle idéal. Dans l'autre genre d'étude,

(1) G. J. Gilchrest. *Proceedings of the American Inst. of Elect Eng.*, juin 1918, t. xxxvii, p. 571-590.

Digitized by Google

dite « pratique », on admet que le modèle s'établit surtout d'après les considérations tirées de l'expérience en service. On reconnaît en général que chacune de ces méthodes a des avantages dans la création d'un type. Le but des recherches suivantes a été de les employer concurremment dans une application particulière : le dessin des isolateurs de transmission à support rigide.

Pour éviter les répétitions, cet article traitera surtout des essais en laboratoire de divers nouveaux modèles et de la comparaison de ces modèles avec ceux de la pratique industrielle actuelle. Les éléments théoriques du problème qui ont servi de base aux développements ci-dessous sont clairement indiqués dans deux mémoires publiés en 1913 dans les « A. I. E. E. Transactions ». L'un d'eux, par C. Fortescue, est intitulé : « Application d'un théorème de l'électrostatique aux problèmes de l'isolation ». L'autre, par C. Fortescue et S. Farnsworth, est intitulé : « L'air considéré comme isolant » (1).

Puisqu'on tentera ici de traiter l'étude pratique et l'étude théorique du problème, deux questions se présentent immédiatement : 1° Les modèles d'isolateurs actuellement en service sont-ils satisfaisants ? 2° Peut-on établir un modèle unique qui donnera satisfaction dans toutes les régions ?

La réponse à la première question se trouve dans la littérature technique, qui témoigne de la façon la plus claire que des perfectionnements sont possibles. Si l'on met en regard, pour chaque type d'isolateur actuel, d'une part la tension d'amorçage d'arc, d'autre part les dimensions d'encombrement et le poids, et si l'on compare entre eux les couples de données ainsi obtenus, on y constate une grande dissemblance. De plus, certaines caractéristiques de plusieurs modèles s'éloignent beaucoup des courbes moyennes, ce qui indique que certains modèles doivent être mal conçus au point de vue économique.

Les causes de ce chaos dans la fabrication actuelle des isolateurs sont très apparentes et ont été souvent exposées.

Tout d'abord, les progrès dans la technique de la transmission ont été rapides. Les Compagnies de transmission, dans le cours de leur développement, demandaient des modèles d'isolateurs offrant un facteur de sécurité élevé. Il n'y avait pas d'expérience d'exploitation antérieure pouvant servir de base à des développements nouveaux, et, par suite, il était souvent nécessaire, pour l'ingénieur exploitant, de proposer lui-même son modèle. En outre, la plupart de nos modèles d'isolateurs actuels ont été conçus quand les propriétés électriques et mécaniques de la porcelaine étaient moins bien connues qu'aujourd'hui. Le résultat, c'est que les modèles ont varié et que différentes caractéristiques ont été tour à tour considérées comme les plus importantes. Ainsi, à une certaine époque, on exigeait un long trajet pour les courants de fuites superficielles, sans considérer la répartition de tensions par cloche que donnaient le courant de capacité ou le courant de fuites, puis, tour à tour, une forte résistance à la tension de perçage de la porcelaine, puis une grande résistance mécanique, etc. On a commis naturellement bien des erreurs et une forte proportion des anciens modèles d'isolateurs ont échoué dans la pratique.

Causes des insuccès en matière d'isolateurs. — Savoir que certains types d'isolateurs ont échoué en pratique ne sert pas à grand'chose pour la modification des modèles, si l'on ne connaît pas les conditions réelles de service et les causes de l'échec. Il faudrait aussi comparer la cause de l'échec d'un type déterminé dans une région donnée à la cause de son échec dans d'autres régions. C'est pourquoi, avant d'essayer d'établir un modèle nouveau, on a étudié les données qu'on possède sur la détérioration des isolateurs et on s'est enquis des opinions des ingénieurs exploitants dans les différentes parties du pays.

D'après des discussions avec ces ingénieurs, d'après les données publiées sur la détérioration des isolateurs et d'après l'observation des isolateurs qui avaient claqué en service, il semble que les principales causes de claquage des isolateurs à support rigide sont les suivantes :

1° Mauvaise distribution du champ statique.
2° Mauvaise distribution des fuites superficielles.
3° Porosité.
4° Rupture mécanique :
a) Par manipulation.
b) Par malfaisance (tir d'armes à feu et jet de pierres).
c) Solidité insuffisante comme support.
d) Fragilité de la matière.
5° Coups de foudre.
6° Oiseaux et autres animaux mettant la ligne en court-circuit.
7° Inégale dilatation du métal, du ciment et de la porcelaine.
8° Efforts internes dans la matière.
9° Cuissons défectueuses.

Les causes 3°, 4° et 9° sont des questions qui concernent l'ingénieur céramiste et ne seront pas considérées ici. Elles ont eu certainement une grande importance dans le passé, mais un contrôle plus scientifique et plus méticuleux à l'usine de fabrication doit les réduire au minimum à l'avenir (1).

La manière dont ces causes ont amené l'échec final de certains modèles peut s'exposer brièvement ainsi :

1° *Mauvaise distribution du champ statique.* — Faute d'avoir considéré la distribution du champ statique dans chaque pièce de l'isolateur, on est arrivé à établir des modèles où la répartition de la tension par cloche est inégale même quand l'isolateur est sec et propre. Quand les toitures (2) d'abri contre la pluie sont rapprochées, l'air qui se trouve entre elles est ionisé, ce qui amène des décharges préalables avant la disrupture à travers l'air. Le champ statique se trouve alors court-circuité dans certaines pièces de l'isolateur et d'autres subissent des efforts trop grands. La tension de disrupture (ou d'amorçage d'arc) sera donc basse par rapport aux dimensions d'encombrement. Ces conditions s'accentuent d'ordinaire quand l'isolateur devient sale et mouillé.

2° *Mauvaise distribution des fuites superficielles.* — Les troubles les plus sérieux causés par les fuites superficielles sont probablement ceux qu'on observe sur certaines sections de ligne le long de la côte de Californie, près du Grand Lac Salé, dans l'Utah, etc. De plus, les conditions climatériques de certaines régions, surtout là où une « saison sèche » est suivie d'une « saison des pluies », aggravent la difficulté. Le long de la côte californienne, par exemple, la surface de l'isolateur se revêt graduellement de poussière pendant la saison sèche. La nuit, une forte brise amène un brouillard contenant plus ou moins de gouttelettes salées sur les lignes de transmission. La poussière de la surface de l'isolateur devient alors humide et conductrice

(1) *La Revue électrique*, 15 septembre 1913, t. XX, p. 258-277 et 279.

(1) *Electric Journal*, février et mars 1918, par T.-A. Kline ter et G.-J. Gilchrist.

(2) Nous traduirons ici par *toiture* l'expression *rain shed*, par laquelle l'auteur désigne la partie de chaque cloche qui s'étend en forme de parapluie. Ce sont les surfaces de ces toitures qui sont marquées *b* dans les figures 8-A et 8-B.

Digitized by Google

et il s'ensuit souvent un courant de fuites assez élevé. Là où le bois est employé comme support, il peut se carboniser aux points où la résistance ohmique est la plus forte, ce qui amène la combustion des tiges d'isolateurs et des traverses. Dans beaucoup de modèles un peu anciens, la résistance aux fuites par cloche est telle qu'elle donne lieu à une répartition très inégale de la tension par cloche dans les conditions de service. En outre, la chute de tension le long de la surface, entre des toitures très rapprochées, devient souvent suffisante pour amener des décharges statiques entre elles. La surface de fuites réelle de l'isolateur se trouve ainsi diminuée, tandis qu'au même instant le jaillissement des arcs fait subir un choc électrique à l'isolateur. Bien entendu, ces mêmes troubles s'observent sur les sections de ligne situées près des usines, des chemins de fer à vapeur, des fabriques de ciment, des fonderies, etc., à un degré plus ou moins accentué.

3° *Porosité.* — Pendant les premiers temps de la construction des lignes de transmission, on a peu accordé d'attention à la détérioration des isolateurs de ligne en service. La plupart des ingénieurs préféraient un isolateur dont la masse de porcelaine offrit une grande résistance à la rupture mécanique. En conséquence, la porosité de la matière qui varie inversement à la solidité mécanique en ce qui concerne la résistance aux chocs (1), a été regardée comme d'importance secondaire. Les résultats que ce fait a amenés en exploitation ont été clairement exposés devant l'Institut par le professeur H.-J. Ryan (2).

4° *Bris par cause mécanique.* — Le bris par cause mécanique a été une source d'ennuis fréquents et a causé des dégâts de bien des manières :

a) Les toitures profondes et à section mince se cassent facilement dans les manipulations ; on perd ainsi un certain nombre d'isolateurs. Mais ce qui est plus important, c'est qu'il y a aussi grand danger d'installer des isolateurs défectueux, car bien des fêlures fines peuvent échapper à l'inspection du personnel ordinaire de la construction des lignes.

b) Certains ingénieurs exploitants, particulièrement ceux du Centre-Ouest, ou du voisinage des camps miniers, déclarent que 80 à 90 pour 100 des isolateurs défectueux retirés de la ligne avaient d'abord été endommagés à coups de fusil ou de pierres.

c) Bien des types ne sont pas assez forts en tant que supports en raison de la faiblesse des sections de la porcelaine et de l'aire trop réduite qui subit l'effort mécanique, ou en raison du fait que la profondeur de la cloche centrale nécessite une longue tige. De tels modèles succombent en service quand des efforts inusités se produisent, comme ceux qui sont causés par les ouragans de givre ou par la flexion des poteaux au moment des dégels ou des fortes pluies, etc.

5° *Coups de foudre.* — On admet généralement qu'un coup de foudre direct détruira tout isolateur se trouvant dans son rayon d'action. Cependant, quelques-uns des modèles relativement anciens, ceux surtout qui avaient des cloches intérieures profondes et des têtes de grand diamètre, étaient très vulnérables à tout choc instantané de tension. D'abord, le rapport de choc (rapport de la tension d'amorçage d'arc à haute fréquence à la tension d'amorçage à fréquence normale) est assez élevé dans ces isolateurs et de plus le rapport entre la tension d'amorçage dans l'air et la tension de perçage dans l'huile est relativement faible.

6° *Oiseaux et autres animaux mettant la ligne en court-circuit.* — Certaines compagnies de transmission ont trouvé nécessaire de mettre des protections sur leurs supports, dans certaines sections de ligne, pour empêcher les écureuils de grimper sur les supports et de mettre les conducteurs en court-circuit. Dans d'autres régions, il a été nécessaire d'accroître la hauteur des tiges d'isolateur ou l'espacement des fils pour empêcher les grues les aigles, etc., de court-circuiter la ligne ou de la mettre à la terre.

7° *Dilatation inégale du métal, du ciment et de la porcelaine.* — Dans bien des cas, on a scellé dans l'isolateur des tiges pleines en metal ou de gros dés de fonte. L'inégale dilatation du métal, du ciment et de la porcelaine paraît avoir causé la fêlure de la porcelaine et le claquage final de l'isolateur.

8° *Efforts internes dans la matière.* — Les parties anguleuses de faible rayon et le manque d'uniformité dans la section des cloches de porcelaine ont pu produire des efforts internes dans la matière pendant les procédés de fabrication, efforts qui plus tard, pendant le service, ont fait naître des fêlures. Il y a eu aussi des cas où la relation entre la forme des cloches, dans la section du scellement, et la forme de la section du scellement elle-même était telle qu'elle favorisait l'effet de l'inégale dilatation de la porcelaine et du ciment, dilatation causée par les changements de température ou l'absorption d'humidité.

Recherches sur le champ statique. — Dans les mémoires de Fortescue et de Farnsworth, plusieurs formes d'isolateurs ont été établies mathématiquement et le champ statique exploré au moyen d'un bain électrolytique. On a pensé que les données qui ont servi de base à ces auteurs, réunies à celles que d'autres observateurs ont fournies, données théoriques et expérimentales, permettaient de déterminer des dessins préliminaires d'isolateurs (1).

Après un examen soigné des données disponibles, il a semblé que la manière logique d'aborder le problème serait de tirer plusieurs modèles théoriques d'isolateurs d'une masse de porcelaine industrielle ordinaire. On étudierait ensuite le champ statique qui s'y établit sous une tension à peu près égale à celle qu'on leur appliquerait en service. Enfin, on ferait intervenir les considérations d'ordre pratique, telles que la détérioration des divers isolateurs industriels en service, les limites imposées par les procédés de fabrication, etc., afin d'arriver à un compromis entre les caractères théoriques et les caractères pratiques.

Méthode de détermination de la forme du champ statique. — On déterminait la forme du champ statique par le procédé suivant : l'isolateur était fixé rigidement dans une position telle que le plan du champ à déterminer fût horizontal. Une pièce de carton à foulon était adaptée à une demi-section de l'isolateur dans ce plan. Dans tous les cas, la traverse supportant l'isolateur était mise à la terre comme elle l'est en service quand on emploie les supports métalliques.

On répandait alors également de l'amiante finement pulvérisée sur la feuille de carton, on appliquait une tension à 60 p : sec de la valeur voulue et on frappait doucement sur la feuille jusqu'à ce que les particules d'amiante eussent

(1) Si la porcelaine était d'autant plus solide qu'elle est moins poreuse, comme il est dit ici, ce serait une circonstance favorable. Mais l'auteur a voulu sans doute dire le contraire.

(2) La céramique dans ses rapports avec la durée des isolateurs à suspension en porcelaine. *A. I. E. E. Transactions*, t. XXXV, 1916.

(1) La distribution du potentiel dans les isolateurs de ligne à haute tension, par C.-T. Allcutt et W.-K. Sholfield. *Journal of Electricity, Power and Gas*, 17 juin 1916. — Problèmes d'électrostatique, par C.-W. Rice. *A. I. E. E. Transactions*, t. XXXVI, 1917.

Digitized by Google

pris leur place. Pour enregistrer une image du champ, on appliquait sur le carton à foulon une feuille de papier photographique, on obtenait une représentation du champ comme précédemment, et on exposait le papier à la lumière après que les particules avaient pris leur place.

Pour s'assurer que la partie la plus intense du champ, autour d'un isolateur, n'était pas matériellement troublée par la présence du carton à foulon ou des particules d'amiante, on a suspendu un fin filament de verre dans diverses parties du champ, au moyen de fibres de soie suspendues à de petites tiges isolées. Autant qu'on a pu le vérifier, les filaments de verre indiquaient les mêmes directions de champ que les particules d'amiante.

Modèles théoriques d'isolateurs. — On a déterminé les champs statiques de cinq modèles théoriques. Là où l'on emploie une traverse et un fil de ligne placés comme ils le sont ordinairement dans les transmissions, il y a deux plans principaux du champ statique entre lesquels se montre la plus grande différence, ce sont le plan de la traverse et le plan du fil de ligne. Ces deux plans font un angle de 90° et la transition est graduelle quand on passe de l'un à l'autre. Dans l'étude ici faite, on a pris des images du champ statique dans ces deux principaux plans et dans le plan bissecteur de leur angle. Dans ce Mémoire, on représente ordinairement l'image prise dans un seul de ces plans pour un isolateur donné. Pour deux modèles, on représente les images dans les trois plans afin de donner un exemple des variations qui se produisent. Le plan dans lequel chaque image a été prise est indiqué par la projection sur un plan normal à l'axe qui se voit en haut et à gauche de chaque figure.

Distributions du champ statique et exemples de modèles théoriques. — La figure 1 représente la distribution du champ autour d'un isolateur d'entrée où les dimensions de disque et de tige sont choisies de façon à donner le maximum de tension de disrupture par la surface pour le diamètre moyen du tore annulaire.

La figure 2 représente une disrupture (ou amorçage d'arc) à 60 p : sec sur l'isolateur d'entrée de la figure 1.

La figure 3 donne la forme de champ pour un modèle où on emploie un système d'ellipsoïdes et d'hyperboloïdes de révolution à foyers en coïncidence.

La figure 7-a, un amorçage à 60 p : sec sur la forme représentée figure 3.

La figure 4, la forme du champ entre un chapeau métallique et une ferrure tels que ceux qu'on pourrait utiliser comme terminaisons d'un isolateur de ligne.

La figure 7-b, un amorçage entre le chapeau et la ferrure représentés figure 4.

La figure 5, la forme de champ d'un isolateur de ligne sans toitures.

La figure 7-c, un amorçage à 60 p : sec sur la forme représentée figure 5.

La figure 6, la distribution de champ d'un isolateur à tige dont la porcelaine a une courbure semblable à celle de la figure 5. Mais la masse de la porcelaine est divisée en trois sections et des toitures métalliques sont ajoutées pour donner une suffisante distance d'amorçage d'arc sous la pluie.

La figure 7-d, un amorçage à 60 p : sec sur l'isolateur de la figure 6.

Le tableau I donne la longueur du trajet qui sépare les électrodes, en suivant la surface de l'isolateur, et la tension d'amorçage à 60 p : sec.

Tableau I.

Forme représentée figure :	Longueur en surface (centimètres)	Tension efficace d'amorçage (kilovolts)	
		totale	par cm
1	10,8	87	8,1
7-a	16,5	22,8	9,0
7-c	20,3	14,4	5,7

L'examen de ce tableau fait apparaître qu'une tension d'amorçage de 8 à 9 kv : cm de longueur superficielle peut être facilement obtenue si, dans la forme de l'isolateur, les contours des surfaces suivent à peu près les directions des lignes de force du champ statique. Naturellement, sur le modèle sans toitures, la tension d'amorçage est un peu plus faible : 5,7 kv : cm. La tension d'amorçage de ce type est basse pour deux raisons : la surface de la porcelaine ne suit pas la direction du champ statique dans tous les plans et le petit fil de ligature produit de l'effet couronne et par suite des décharges statiques à une tension relativement basse. En plaçant un écran statique au sommet de cet élément, on a augmenté la tension d'amorçage de 18 pour 100.

D'après la forme du champ entre chapeau et ferrure que donne la figure 4, et les valeurs de tension que fournit le tableau I, on peut déterminer des dessins théoriques d'isolateurs pour de telles électrodes. Ces dessins doivent épouser les surfaces *a* et *b* indiquées sur la figure 4. On obtiendrait ainsi la plus haute tension d'amorçage correspondant à un poids donné de matière isolante. Les électrodes doivent avoir un rayon de courbure suffisant aux points de contact avec la matière isolante et le métal doit être bien scellé à cette matière.

Modifications a apporter au dessin théorique pour remplir les conditions de fabrication et d'exploitation. — Des isolateurs basés sur ces données théoriques seraient excellents au point de vue électrique et au point de vue mécanique s'ils ne devaient servir que dans l'air pur et sec. Mais l'isolateur industriel doit maintenir la transmission sous les précipitations les plus violentes de neige et de pluie. De plus, il doit avoir un trajet de fuites assez long pour empêcher l'amorçage ou même une forte perte d'énergie quand sa surface devient sale et humide.

La fabrication d'isolateurs pour haute tension en une seule pièce est possible, mais serait coûteuse. De plus, la tension de perçage d'un isolateur d'une seule pièce serait faible pour une épaisseur donnée, puisque dans une matière isolante placée entre électrodes métalliques à potentiels différents, l'effort varie comme une fonction logarithmique. La division de l'isolateur en pièces qui sont cimentées les unes aux autres répartit plus uniformément l'effort dans le diélectrique si l'isolateur est convenablement dessiné. On diminue aussi par là la possibilité d'un claquage complet de l'isolateur et on facilite la manufacture, ce qui abaisse le prix de revient.

L'emploi d'un chapeau spécial serait désirable au point de vue du diélectrique. Mais les caractéristiques de tension sous la pluie sont les mêmes, qu'on emploie le fil de ligature ordinaire ou un chapeau spécial. De plus, le coût et la facilité du remplacement, le coût du montage, etc., sont en faveur de la ligature.

Digitized by Google

Modèle proposé pour l'isolateur industriel. — En tenant compte des limitations ci-dessus pour les modèles théoriques et des causes de claquage d'isolateurs, on a établi le type représenté figure 8, qui réalise les caractères suivants :

1° Les surfaces *a* se conforment aux lignes de force du champ statique;

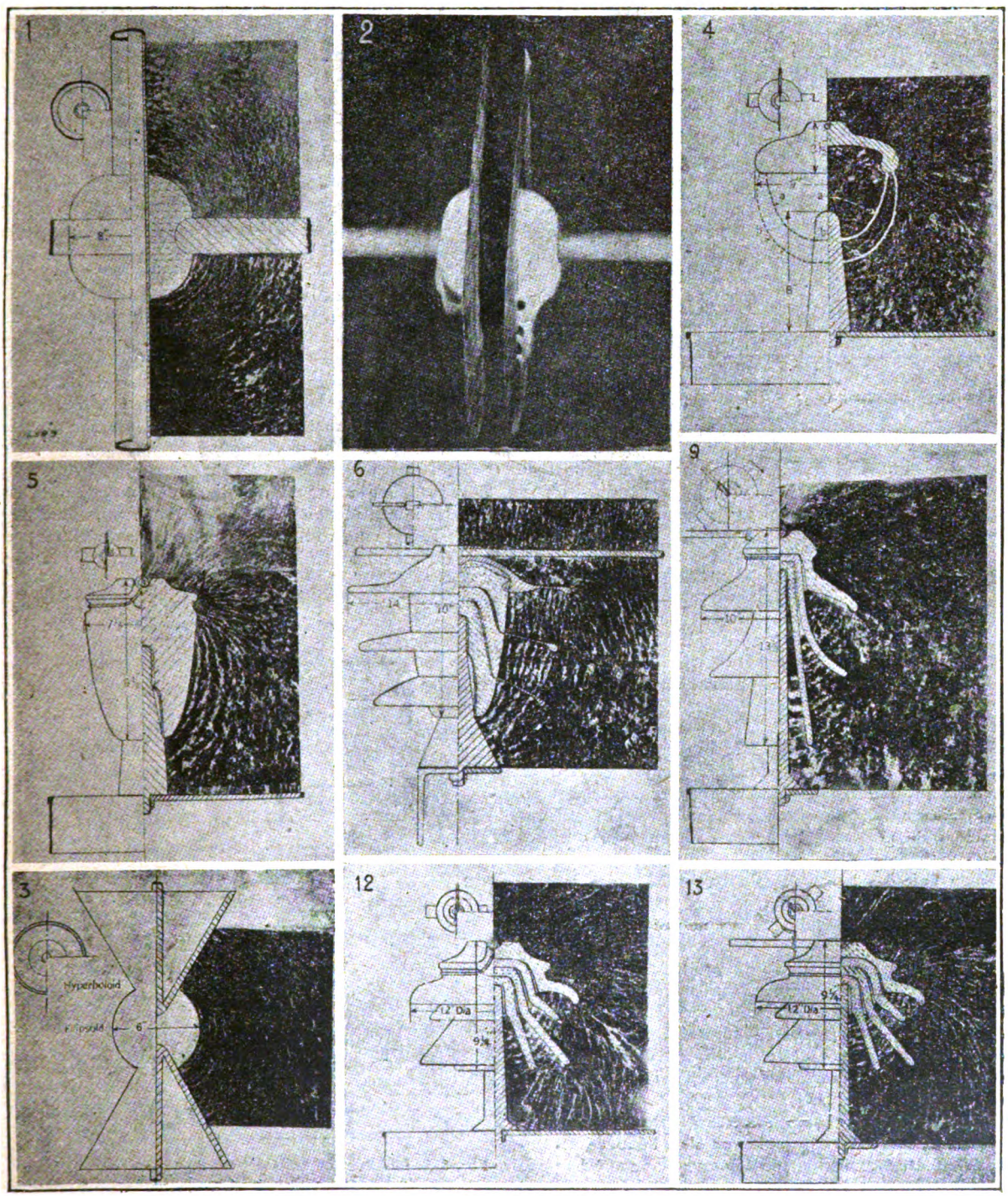


Fig. 1. Champ statique autour d'une porcelaine d'entrée théorique. (Cotes en inches : 1 inch, 25,4 mm.) — Fig. 2. Amorçage d'arc à 60 p : sec sur la porcelaine de la figure 1. — Fig. 3. Champ statique autour d'un modèle théorique obtenu par l'emploi de surfaces de révolution à foyers en coïncidence. (Cotes en inches : 1 inch, 25,4 mm.) — Fig. 4. Champ statique entre chapeau métallique et ferrure. (Cotes en inches : 1 inch, 25,4 mm.) — Fig. 5. Champ statique autour d'un isolateur de ligne sans toitures. (Cotes en inches : 1 inch, 25,4 mm.) — Fig. 6. Champ statique autour d'un isolateur muni de toitures métalliques. (Cotes en inches : 1 inch, 25,4 mm.) — Fig. 9. Isolateur C. Champ statique autour d'un isolateur de ligne de modèle ancien. — Fig. 12. Voir figure 24. (Cotes en inches, 1 inch, 25,4 mm.) — Fig. 13. Voir figure 24. (Cotes en inches : 1 inch, 25,4 mm.)

Digitized by Google

2° Les surfaces *b* des toitures se conforment aux lignes équipotentielles;

3° Les lignes d'effort mécanique sont parallèles aux lignes de force électrostatiques;

4° La résistance aux courants de fuite est à peu près égale pour chaque cloche; elle s'accroit graduellement de la tête à la cloche centrale;

5° La capacité est à peu près la même pour chaque cloche.

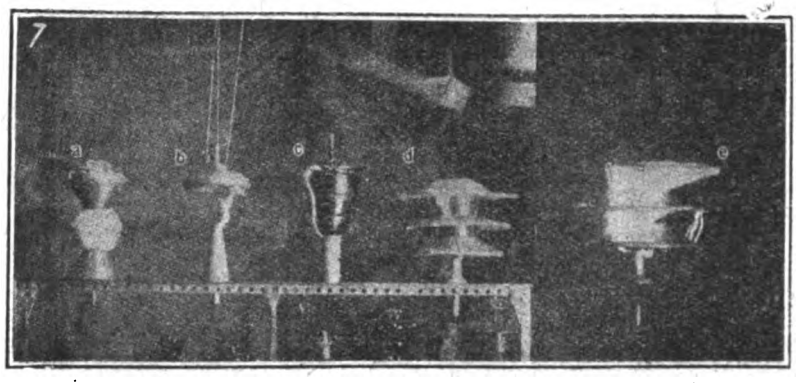


Fig. 7. — Amorçage d'arcs à 60 p : sec sur des moulages de porcelaine de forme théorique.

Comparaison avec des modèles plus anciens. — On ne peut guère qu'indiquer, dans la discussion suivante, les méthodes employées pour comparer le type proposé, représenté figures 8-A et 8-B, avec les isolateurs industriels plus anciens. On s'est procuré des spécimens de divers modèles industriels et on les a soumis à des essais de laboratoire assez complets en même temps qu'on essayait des isolateurs du modèle proposé. Il faut noter que les isolateurs du nouveau type soumis aux essais de comparaison ne sont pas dimensionnés exactement comme celui de la figure 8. Pour diminuer le coût des recherches, on a tiré, d'un certain nombre de moulages identiques, des toitures d'isolateurs de plusieurs modèles en rognant les cloches séparées avant leur cuisson. C'est ce qui explique l'apparence non finie des bords des toitures, etc., dans certains des modèles d'expérience.

Dans la comparaison suivante, on ne prétend pas que le modèle établi soit définitif dans chaque détail. Le principal but visé est l'uniformité de tous les éléments qui constituent les types, afin d'arriver à un modèle qui résistera également bien au claquage, quelles que soient les conditions imposées à la section considérée. Dans les comparaisons suivantes, on considérera les diverses causes de claquage en service, en suivant l'ordre choisi au début de ce mémoire.

1° *Répartition du champ électrostatique.* — Le plus court chemin dans l'air qui soit soumis à l'effort électrostatique doit être au moins assez long pour empêcher que l'air subisse des efforts trop intenses en aucun point. Dans les discussions théoriques auxquelles on a fait allusion au début, on a prouvé que partout où la porcelaine et l'air sont en série dans un champ statique, le gradient de tension à travers la porcelaine est 0,25 à 0,10 du gradient de tension dans l'air. Il est évident que toute mince section d'air comprise entre les toitures d'un isolateur de ligne ordinaire sera surtendue même à la tension normale en ligne.

Pour faire une comparaison des champs statiques des divers isolateurs, on a déterminé leurs formes de champ comme dans les recherches relatives aux modèles théoriques. On croit que les formes de champ qu'on verra dans les illustrations ci-dessous indiquent suffisamment que bien des modèles actuels n'ont pas été conçus avec une juste idée de l'avantage qu'on a à conformer les contours aux lignes de force statiques, pour obtenir la répartition la plus efficace des efforts dans le champ.

La figure 9 (isolateur C) représente le champ statique d'un modèle employé dans les premiers temps de la tranmission à haute tension. L'air qui se trouve entre les toitures juste au-dessous de la section du ciment est fortement surtendu. En raison de la hauteur de la tige par rapport aux autres dimensions de l'isolateur, l'effort de tension dirigé vers la base de la tige et la traverse de support est très faible. De plus, la troisième cloche de l'isolateur est si rapprochée de la ferrure qu'elle ne reçoit pas sa proportion d'effort de tension quand un amorçage se produit à sec ou sous la pluie.

La figure 10 (isolateur D) représente le champ statique d'un isolateur en trois pièces de modèle un peu plus récent. La cloche centrale est mieux séparée que dans l'isolateur C. Mais l'air, juste au-dessous des sections du ciment, reçoit une forte contrainte et la toiture trop courte de la seconde

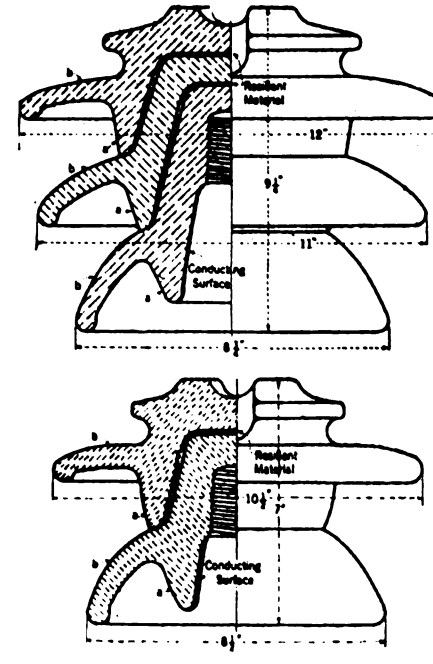


Fig. 8 A. Isolateur en trois pièces du type proposé. Isolateur A. (Cotes en inches : 1 inch, 25,4 mm . — Fig. 8. B. Isolateur en deux pièces du type proposé. Isolateur B.

cloche donne lieu à une inégale répartition de la tension en cas d'amorçage d'arc, à sec ou sous la pluie.

Les figures 11, 12 et 13 (isolateur E) représentent le champ statique d'un isolateur en quatre pièces de modèle relativement récent. Les toitures de ce type sont plus uni-

Digitized by Google

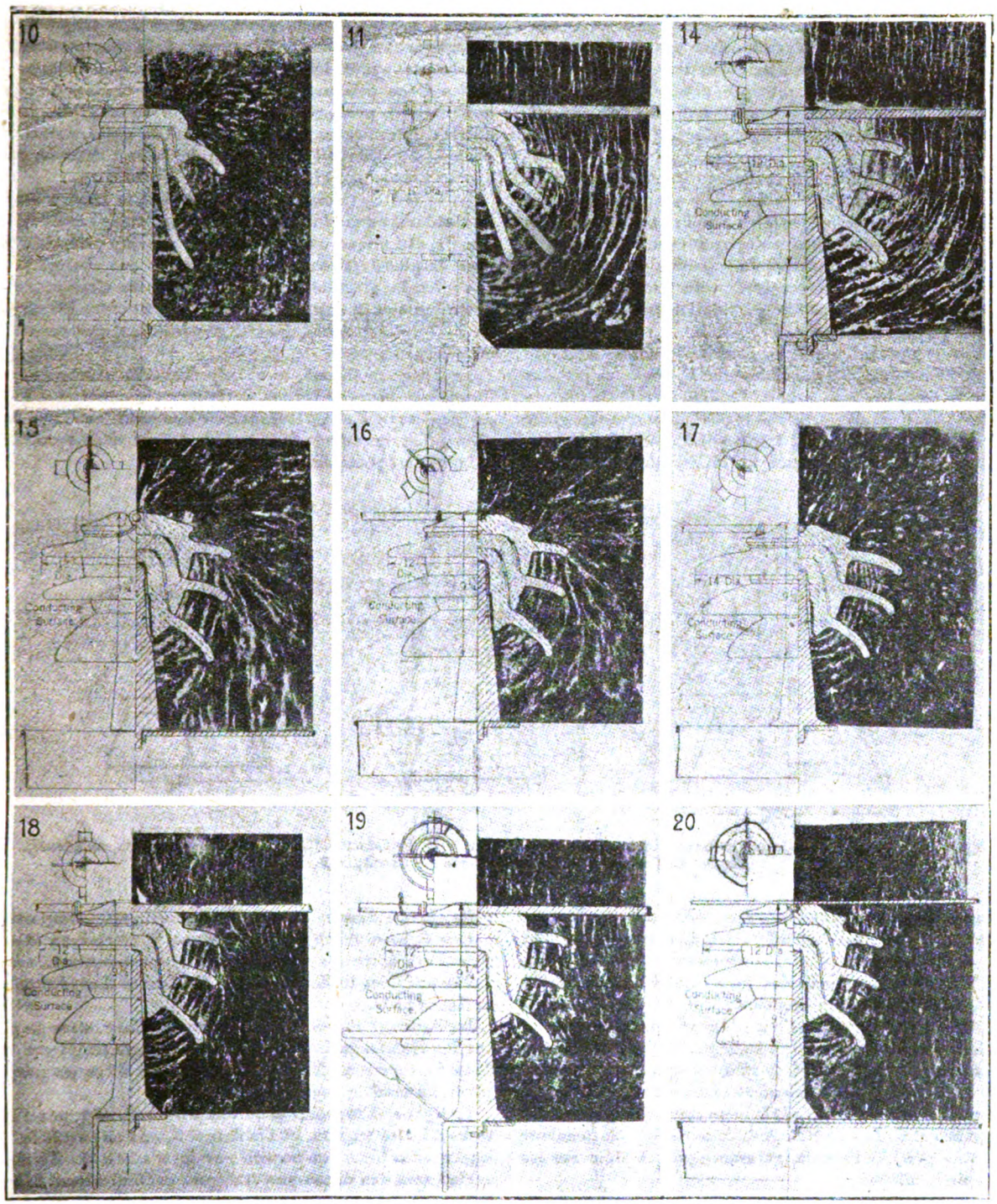


Fig. 10. Isolateur D Champ statique autour d'un isolateur de modèle assez récent. — Fig. 11. Isolateur E. Champ statique autour d'un isolateur de modèle récent. (Cotes en inches : 1 inch, 25,4 mm.) — Fig. 14. Isolateur F. Champ statique autour d'un isolateur du type proposé. (Cotes en inches : 1 inch, 25,4 mm.) — Fig. 15. Voir figure 27. (Cotes en inches : 1 inch, 25,4 mm.) — Fig. 16. Voir figure 27. (Cotes en inches : 1 inch, 25,4 mm.) — Fig. 17. Isolateur G. Champ statique autour d'un isolateur du type proposé. (Cotes en inches : 1 inch, 25,4 mm.) Conducting surface, surface conductrice. — Fig. 18. Isolateur F. Champ statique autour d'un isolateur du type proposé, soumis à une pluie artificielle. (Cotes en inches : 1 inch, 25,4 mm). Conducting surface, surface conductrice. — Fig. 19. Isolateur F. Champ statique autour d'un isolateur du type proposé, muni d'anneaux de garde Nicholson. (Cotes en inches : 1 inch, 25,4 mm.) Conducting surface, surface conductrice. — Fig. 20. Champ statique autour d'un isolateur muni d'écrans statiques au sommet et à la base. (Cotes en inches : 1 inch, 25,4 mm.) Conducting surface, surface conductrice.

Digitized by Google

formément espacées, mais l'air logé entre les toitures, juste au-dessous des sections du ciment, reçoit une forte contrainte. La contrainte qui s'exerce dans tout le champ statique de ce type marque une amélioration sur les types C et D. Mais la seconde toiture, trop courte, et la quatrième, abritée par la troisième, donnent une inégale répartition des potentiels en cas d'amorçage d'arc, à sec ou sous la pluie.

Les figures 14, 15 et 16 (isolateur F) représentent le champ statique d'un isolateur du modèle proposé. Le trajet d'air le plus court qui puisse être suivi entre les cloches est suffisant pour que l'air ne soit pas surtendu à la tension normale de l'isolateur ou lorsqu'un amorçage se produit. De plus les toitures sont espacées de telle sorte que chaque section de l'ensemble reçoit sa part de la contrainte en cas d'amorçage d'arc, à sec ou sous la pluie.

La figure 17 (isolateur G) représente le champ statique d'un modèle ressemblant à l'isolateur F, mais ayant des toitures de diamètre plus grand. Le diamètre de la tête de ce modèle paraît disproportionné et probablement supérieur à la dimension qui donnerait le plus de satisfaction en service. Cependant, l'effort dans le diélectrique est bien réparti et la répartition du potentiel par cloche à l'amorçage d'arc, à sec ou sous la pluie, est fort bien proportionnée.

La figure 18 (isolateur F) représente le champ statique de l'isolateur ayant les faces supérieures des toitures couvertes d'une peinture conductrice. Cette forme de champ, qui réalise à peu près les conditions de la pluie, indique que la contrainte par cloche, pendant la pluie, serait à peu près égale. Elle indique aussi que l'effort dans le champ statique est plus uniforme pendant la pluie.

La figure 19 (isolateur F) représente le champ statique de l'isolateur quand il est muni d'*anneaux de garde* Nicholson (1), et indique que la portion du champ près de l'isolateur la plus fortement contrainte n'est pas changée. Mais la région la plus fortement contrainte du champ, entre le fil de ligne et la traverse, est maintenant entre les anneaux de garde et les amorçages se produiraient par conséquent entre ces anneaux.

La figure 20 (isolateur F) représente le champ statique lorsqu'on place des écrans statiques au sommet et à la base de l'isolateur. Cette combinaison donnerait une très bonne répartition des efforts dans le diélectrique, mais serait assez coûteuse au point de vue industriel.

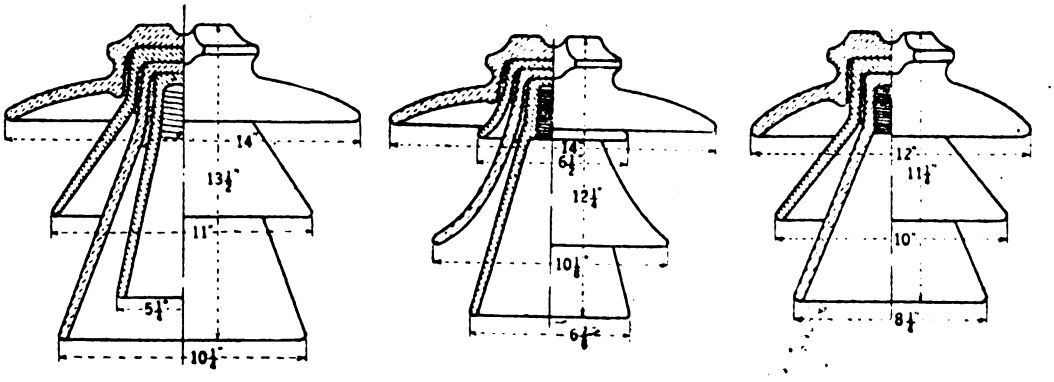


Fig. 21 A. Isolateur I (Cotes en inches : 1 inch, 25,4 mm) — Fig. 21 B. Isolateur K (Cotes en inches : 1 inch, 25,4 mm).
Fig. 21 C. Isolateur H (Cotes en inches : 1 inch, 25,4 mm).

Essais d'amorçage d'arca 60 p : sec. — Dans la plupart des isolateurs de type relativement ancien, l'amorçage d'arc est causé par la formation d'effet couronne sur le fil de ligne, le fil d'attache et les bords des joints de ciment entre les cloches. A mesure qu'on augmente la tension appliquée à l'isolateur, la surface où se forme la couronne augmente et des traînées d'effluves statiques se répandent graduellement sur la surface des toitures. Ces effluves augmentent de longueur jusqu'au point où finalement l'isolement par l'air est rompu et l'arc s'amorce. Il est évident que le trajet de l'arc se fera sur celui de ces traînées, de sorte que la chaleur intense dégagée par l'arc de puissance pourra détacher les toitures de l'isolateur.

Dans le type proposé, il n'y a pas de traînées statiques partant des bords de la section du ciment, entre les cloches, jusqu'à la tension d'amorçage d'arc. Par suite, la formation de couronne, au fil de ligne et au fil d'attache, augmente jusqu'à ce que l'amorçage se produise par disrupture d'un trajet dans l'air entre le fil de ligne et la ferrure ou la traverse.

On peut en voir la preuve dans les illustrations suivantes. Dans chacune des figures, les axes des deux isolateurs donnant lieu à des amorçages qu'on veut comparer étaient à la même distance de l'objectif photographique et par suite, leurs dimensions sont directement comparables.

Les figures 22 et 23 donnent des illustrations d'amorçage d'arc à sec ou sous la pluie respectivement, sur les isolateurs G et H. Le dessin de l'isolateur H est donné dans la figure 21-C.

La figure 24 représente un amorçage d'arc, sous la pluie, sur les isolateurs J et I. Le dessin de l'isolateur I est donné dans la figure 21-A. L'isolateur J est du type proposé, pareil au modèle représenté figure 8.

La figure 25 représente un des plus anciens types d'isolateurs à haute tension, et l'isolateur J, mis en parallèle. Les lignes plus fines qu'on voit sur la surface de l'isolateur ancien sont des décharges statiques préliminaires. L'arc de puissance final se détache à gauche de la tête de l'isolateur, le contourne par-devant et aboutit finalement à la ferrure derrière l'isolateur.

La figure 26 représente l'isolateur F mis en parallèle avec l'isolateur d'ancien modèle représenté dans la figure 25 et fait voir la formation de couronne et la décharge statique au-

(1) Voir *Revue électrique*, n° du 22 décembre 1911, p. 568. Ce sont des anneaux métalliques entourant l'isolateur, en haut et en bas, à une certaine distance de la porcelaine. L'arc jaillit entre ces anneaux et n'a pas ainsi de contact avec la porcelaine.

Digitized by Google

dessus de la tête et entre la tête et la seconde cloche de l'isolateur ancien. La pose photographique a duré 45 secondes avec une ouverture de diaphragme égale à f : 8.

La différence dans la contrainte subie par l'air autour de l'isolateur, juste au-dessous de la tension d'amorçage à sec, était très marquée. Les isolateurs F, G et J du modèle

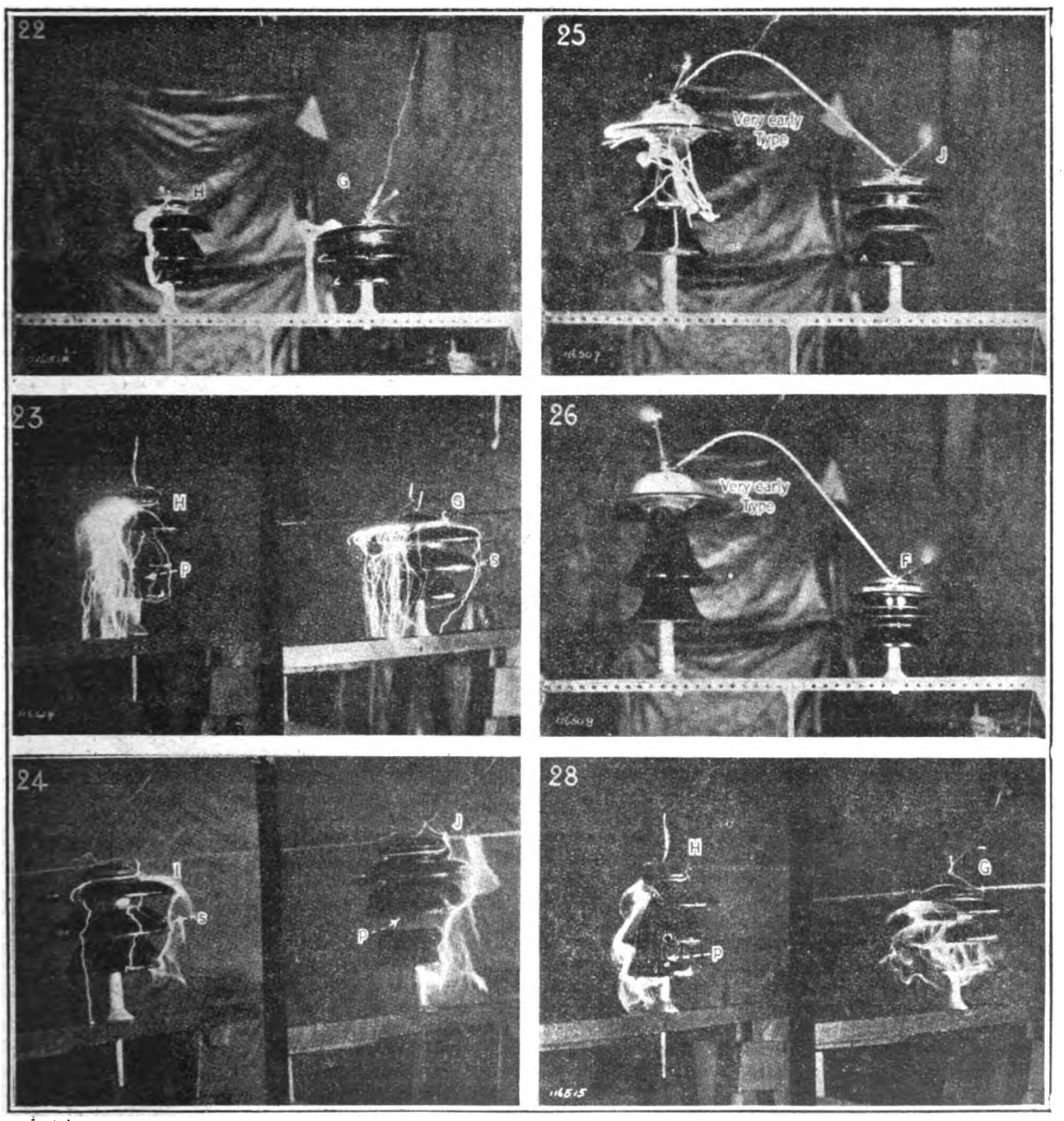


Fig. 22. Amorçage d'arc à sec à 60 p : sec. — Fig. 23. Amorçage d'arc sous la pluie à 60 p : sec. — Fig. 24. Amorçage d'arc sous la pluie à 60 p : sec. — Fig. 25. Amorçage d'arc à sec à 60 p : sec. — Fig. 26. Essai à 60 p : sec. Comparaison des formations de couronne. — Fig. 28. Cloche supérieure brisée. Amorçage d'arc sous la pluie.

proposé ne montraient pas de couronne appréciable sauf aux fils de ligne et d'attache jusqu'à l'instant de l'amorçage. L'amorçage avait lieu entre le fil de ligne ou le fil d'attache et la ferrure ou la traverse, sans que l'arc eût tendance à jaillir d'abord entre les toitures. Sur les isolateurs E, H, I, on voyait un effet couronne et des traînées statiques intenses. Les traînées statiques commençaient à se répandre sur les surfaces entre les cloches des isolateurs H et I à 80 pour

Digitized by Google

100 de la tension d'amorçage, et, à moins que ces types ne fussent montés sur des ferrures assez basses, l'arc de puissance se maintenait tout près des surfaces de la porcelaine. Naturellement, le modèle ancien des figures 25 et 26 a été entièrement réformé, mais ces deux figures indiquent bien qu'on l'a construit sans tenir aucun compte de la répartition du champ statique.

La différence dans la distribution de la contrainte avant l'amorçage d'arc sous la pluie est plus visible encore. Dans les isolateurs E, G, H et I, l'inégal espacement des toitures et l'inégalité subséquente des distances d'amorçage sous la pluie, combinés avec la forte contrainte de l'air entre les toitures au-dessous des sections de ciment, produisent des décharges préliminaires (marquées p) entre les toitures. Ces décharges préliminaires font subir des chocs électriques à certaines parties de l'isolateur et mettent en court-circuit des parties de la porcelaine entre la ligne et la ferrure. Par conséquent, quand une onde instantanée survient sur la ligne pendant un orage accompagné de pluie, ou quand l'isolateur est sali et mouillé, le coefficient de sécurité de ces isolateurs pour la résistance au perçage ou à l'amorçage d'arc n'est en réalité pas supérieur et est parfois inférieur à ce qu'il serait avec une des cloches en moins.

Sur les isolateurs F, G et J du modèle proposé, on ne voit pas de décharges préliminaires, sauf des décharges statiques jaillissant du fil de ligne ou du fil d'attache à la ferrure ou à la traverse. Les décharges statiques (marquées s) se voient sur chacun de ces isolateurs. Toute la surface offerte aux courants de fuite et toute l'épaisseur de la porcelaine entre la ligne et la ferrure sont donc entièrement utilisées jusqu'au claquage par l'amorçage d'arc.

2° *Faites superficielles* — Comme il a déjà été dit, la surface parcourue par les courants de perte, dans beaucoup de modèles relativement anciens, donne une répartition très inégale de la tension par cloche. La table II donne la résistance superficielle par cloche de divers isolateurs essayés pendant ces études. On a obtenu ces valeurs par une intégration de la surface, c'est-à-dire qu'on a

$$\text{Résistance superficielle} = \int \frac{ds}{2\pi y},$$

où ds est un élément de la surface et y la distance de cet élément à l'axe de l'isolateur.

TABLEAU II.

Résistance superficielle par cloche en tant pour 100 de la résistance.

ISOLATEUR	NUMÉRO D'ORDRE DE LA CLOCHE			
	première	seconde	troisième	quatrième
A	28	30	42	
B	45	55		
E	14	13	32	41
F	26	29	45	
G	26	31	43	
H	18	29	48	
I	12	16	32	40
K	15	11	30	44

On voit nettement d'après cette table que certains modèles anciens, surtout ceux qui ont une seconde cloche courte, des cloches intérieures longues, etc., ont une grande inégalité de résistance superficielle par cloche. Si la surface de l'isolateur se salit et se mouille et laisse alors passer un courant de perte de seulement un milliampère, la répartition du potentiel dépend alors de ce courant et on peut négliger le courant de capacité. Le gradient de potentiel le long de la surface de l'isolateur devient souvent ainsi suffisant pour amener la décharge entre les cloches et la ferrure ou la traverse, ou par contournement des cloches courtes. Un choc électrique se trouve ainsi appliqué à diverses parties de l'isolateur et certaines parties de la masse de la porcelaine, entre la ligne et la ferrure, sont mises en court-circuit. Il est probable que l'excès de contrainte appliqué continuellement à certaines parties a été dans le passé la cause de bien des claquages d'isolateurs.

On voit que la résistance superficielle des modèles proposés, tels qu'ils sont réalisés par les isolateurs A et B, s'accroît graduellement de la cloche supérieure à la cloche centrale, cet accroissement étant considéré comme un avantage, puisqu'en général ce sont les cloches centrales qui se salissent le plus.

Un caractère nouveau du modèle proposé se voit dans la figure 27, qui représente les isolateurs D, E, F et H. Ils ont été fixés sur une même traverse, le fil de ligature attaché comme en service, on a appliqué la tension et on a soufflé autour d'eux de la poudre de plâtre de Paris. Les surfaces délimitées par les lignes a du dessin proposé (fig. 8) sont pratiquement sans poussière.

La raison en est très apparente. Toute la force qui agit dans le champ statique le long de cette surface a est tangente à cette surface et tend à repousser les particules vers les toitures qui sont au-dessus ou au-dessous. On a observé le même fait en soufflant autour des isolateurs de l'eau salée pulvérisée. Ce caractère aurait une certaine valeur dans les régions poussiéreuses, car la poussière tendrait à se rassembler principalement sur la toiture inférieure, que le vent et la pluie nettoieraient jusqu'à un certain point.

Sur de longues portions de ligne, dans certains pays comme les régions littorales de Californie, il est nécessaire de nettoyer les isolateurs. Il est visible que le type proposé peut se nettoyer beaucoup plus facilement et mieux qu'aucun des types plus anciens.

3° *Porosité.* — Comme on l'a indiqué précédemment, la porosité de la porcelaine est un problème concernant plus spécialement l'ingénieur céramiste que le projeteur d'isolateurs. Le professeur Ryan a clairement montré, dans un récent mémoire (1), que nous n'avons pas de moyen de découvrir la très légère porosité de la matière qui peut causer des troubles. Comme la porosité dépend de la composition de la masse, des procédés de fabrication et de la cuisson on ne peut pas découvrir une faible quantité de matière légèrement poreuse, même avec les plus grands soins dans la fabrication et les essais. Dans le modèle proposé, la surépaisseur donnée aux parties de la porcelaine qui se trouvent dans la surface cimentée devrait réduire au minimum le nombre des pièces qui se révéleront défectueuses en cours de service.

4° *Bris mécanique :*

a) Par manipulation. — En augmentant l'épaisseur des toitures et en les munissant d'une bordure d'égouttement, on diminuera sensiblement le tant pour 100 des pertes dues à cette cause.

b) Par malfaisance (tir d'armes à feu ou jet de pierres). — Les photographies ci-dessous représentent des amorçages à sec ou sous la pluie sur des isolateurs ayant eu diverses toitures brisées par un projectile de poids faible.

(1) *Loc. cit.*

Digitized by Google

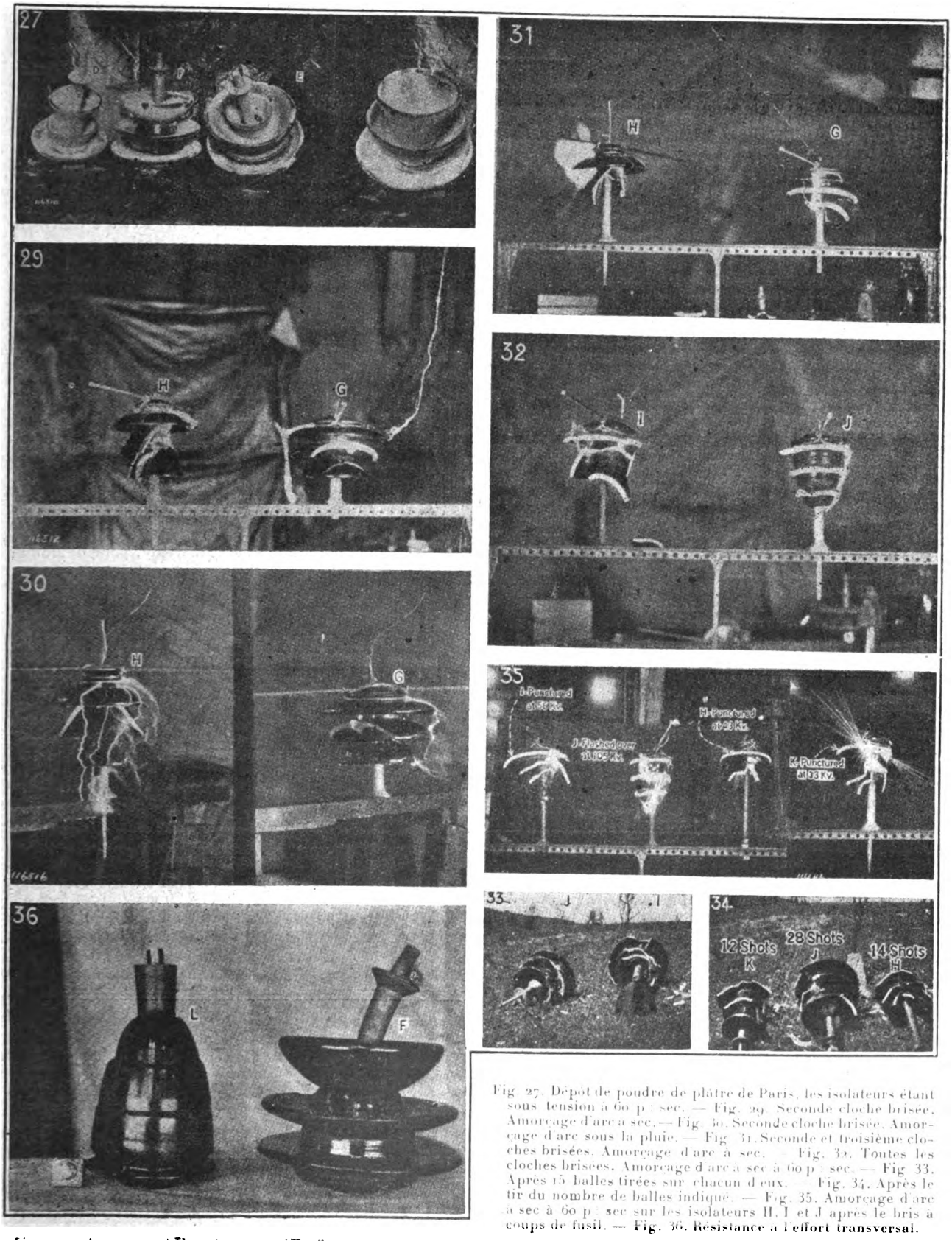


Fig. 27. Dépôt de poudre de plâtre de Paris, les isolateurs étant sous tension à 60 p : sec. — Fig. 29. Seconde cloche brisée. Amorçage d'arc à sec. — Fig. 30. Seconde cloche brisée. Amorçage d'arc sous la pluie. — Fig. 31. Seconde et troisième cloches brisées. Amorçage d'arc à sec. — Fig. 32. Toutes les cloches brisées. Amorçage d'arc à sec à 60 p : sec. — Fig. 33. Après 15 balles tirées sur chacun d'eux. — Fig. 34. Après le tir du nombre de balles indiqué. — Fig. 35. Amorçage d'arc à sec à 60 p : sec sur les isolateurs H, I et J après le bris à coups de fusil. — Fig. 36. Résistance à l'effort transversal.

Digitized by Google

Les figures 22 et 23 représentent les amorçages à sec et sous la pluie sur les isolateurs G et H respectivement. Le tableau III indique les tensions d'amorçage relatives à des isolateurs brisés en tant pour 100 de cette tension relative au même isolateur intact. Le tableau contient une référence aux figures. La figure 24 représente l'amorçage sous la pluie sur les isolateurs J et I. Le tableau IV donne les tensions d'amorçage relatives d'isolateurs brisés comme le tableau III.

TABLEAU III.

Toitures brisées.	Supérieure.		Seconde.		Seconde et troisième.	
Illustration dans les figures :	28		29	30	31	
Sec ou mouillé..	sec	mouillé	sec	mouillé	sec	mouillé
Isolateur G.....	85	80	100	100	68	74
Isolateur H.....	79	77	82	97	54	70

TABLEAU IV.

Toitures brisées.	Supérieure.	Supérieure et troisième.	Toutes les toitures.	
Illustration dans la figure :			32	
Sec ou mouillé..	sec	sec	sec	mouillé
Isolateur J.....	87	78	59	30
Isolateur I.....	85	76	34	15

Comme l'examen des diagrammes du champ électrostatique pouvait le faire prévoir, le bris de la seconde toiture du type proposé n'a pratiquement pas d'effet sur les tensions d'amorçage d'arc de l'isolateur. En fait, comme le montrent les illustrations, les trajets des arcs à sec ou sous la pluie ne suivent pas la toiture brisée. Dans les modèles antérieurs, quand il y a des toitures brisées, l'effet couronne et les traînées d'effluves statiques s'établissent sur la surface à une tension plus faible que quand les isolateurs sont intacts. Les trajets des arcs, sur ces modèles plus anciens, suivent donc la surface de l'isolateur. Dans le modèle proposé, en raison de l'absence de traînées statiques sur la surface de la porcelaine, l'arc se tient à distance de cette surface. Un isolateur de ce type, une fois brisé, sera donc moins exposé à claquer complètement par l'effet d'un arc de puissance.

Un des caractères les plus importants du modèle proposé est que lorsque des spécimens de ce type sont frappés par des pierres, etc., les toitures ne se fêlent ni ne se brisent au delà de la ligne a (fig. 8) en raison de la forme des pièces constitutives. Les toitures des modèles relativement anciens étaient, en cas de choc, très sujettes à se fêler ou à se briser jusque dans la section cimentée. La première onde de surtension ou même la tension normale de la ligne perforera donc souvent les cloches restantes. De fait, dans les deux séries d'essais qu'on a photographiées, les modèles anciens se perforèrent tous les deux pendant l'arc à sec après que les cloches eurent été brisées. Des traînées statiques jaillirent le long de la surface de l'isolateur H (fig. 31) et la perforation se produisit alors. L'isolateur I (fig. 32) donna lieu à un amorçage d'arc et se perfora avant que le disjoncteur du transformateur d'essais eût fonctionné.

Un spécimen des modèles H, I et K, et deux du modèle J furent soumis à une épreuve de coups de fusil. Vingt-deux balles longues furent tirées sur les isolateurs d'une distance d'environ 30 m et suivant une ligne faisant un angle de 45° avec leurs axes. Les photographies ci-dessous mettent en regard la brisure obtenue et l'aptitude des spécimens brisés à supporter ensuite l'essai électrique. Le tir fut opéré par des hommes n'ayant nul intérêt dans la construction des isolateurs et on leur demanda de faire autant de dégât que possible.

La figuge 33 représente les isolateurs I et J après qu'ils eurent reçu chacun 15 balles. Les cloches supérieure, seconde et troisième de I furent brisées, la seconde cloche étant fêlée dans la section cimentée. La seconde cloche de J fut écornée en deux endroits, le reste de l'isolateur étant intact. La figure 34 représente les isolateurs H, K et I après que 14 coups eurent été tirés sur H, 12 sur K, et 28 sur I. La seconde cloche et la cloche centrale de H et la cloche centrale de K furent fêlées. Les toitures de J furent écornées en quelques places, mais les cloches ne furent pas fêlées. Ces cinq unités furent alors installées avec leurs axes à angle droit de la ligne de tir. Il ne fallut pas plus de cinq ou dix coups pour faire tomber la partie principale des cloches restantes sur les isolateurs H, K, I, tandis qu'un spécimen du type J conservait encore une grande partie de ses toitures après qu'on lui eut tiré environ 100 coups. Les cloches restant sur les deux isolateurs J furent alors abattues à coups de marteau, pour démontrer aux personnes présentes que la surface de l'isolateur, qui est tangente aux lignes de force a, ne serait pas fêlée par ce procédé.

La figure 35 représente le premier essai d'amorçage d'arc à sec fait sur ces isolateurs après l'épreuve du tir. Les spécimens H, K et I se perforèrent aux tensions de 33, 43 et 56 kv, respectivement. Le spécimen J donna lieu à un amorçage à 105 kv, la masse de porcelaine restante, limitée par la ligne a, étant encore intacte.

c) Solidité insuffisante en tant que support. — Deux spécimens, comme l'indique la figure 36, ont été essayés pour déterminer la résistance à l'effort latéral. Dans chaque cas on appliquait la charge à la gorge du fil d'attache, qui était à 30,5 cm de la base de la ferrure. Les pièces dont l'isolateur L fut formé s'obtinrent en écourtant les toitures de cloches séparées de l'isolateur J avant la cuisson et l'essai mécanique doit par suite donner à peu près les mêmes résultats que celui de l'isolateur J. La ferrure du type L était cimentée directement à l'isolateur. Un dé séparé, en acier embouti, était cimenté à l'isolateur F. Le boulon de 25,4 mm de la ferrure cimentée à l'isolateur L se brisa sous un effort de 607 m : kg, et un effort de 428 m : kg plia la ferrure de l'isolateur F comme le montre la figure, la position de l'isolateur étant telle qu'on ne pouvait pas appliquer de charge supplémentaire. Les deux spécimens étaient intacts au point de vue électrique après ces essais.

d) Fragilité de la matière. — Tous les spécimens employés dans ces essais étaient faits de la même masse de porcelaine et, par conséquent, la considération de fragilité, qui est une question d'art céramique, n'entre pas ici.

5° *Coups de foudre.* — Le rapport de choc du type proposé est plus faible que celui de la plupart des types plus anciens. Sa valeur réelle n'a pas été déterminée. Cette affirmation est basée sur des essais du modèle proposé, monté en parallèle avec des modèles plus anciens. Les modèles

Digitized by Google

anciens étaient fixés sur une ferrure d'une hauteur telle au-dessus de la traverse, que l'amorçage d'arc se fit sur le modèle ancien, installé seul, à une tension légèrement supérieure à celle du type proposé installé seul. Quand on les essayait en parallèle, les décharges statiques sur la surface de la porcelaine du type ancien faisaient souvent amorcer d'abord l'arc sur le type proposé.

De plus, la masse de porcelaine limitée par les lignes de force a doit avoir un rapport de choc très voisin de l'unité. Une tension de choc très élevée pourrait donc perforer les toitures de l'isolateur en laissant cette masse intacte. La section plus épaisse de porcelaine entre ligne et ferrure doit aussi accroître notablement le coefficient de sécurité de l'isolateur.

6° *Inégale dilatation du métal, du ciment et de la porcelaine.* — L'introduction d'une matière résiliante entre les sommets des cloches doit éliminer la tendance à se fendre qu'on remarque dans certains modèles antérieurs. En adoptant des rayons de courbure plus grands aux sommets des cloches et en donnant à la section du ciment une certaine inclinaison par rapport à l'axe, on contribuera à éliminer les troubles qui peuvent naître de l'inégalité des coefficients de dilatation pour la porcelaine et le ciment.

7° *Efforts internes dans la matière.* — En éliminant les faibles rayons de courbure et les changements brusques de section dans la matière, on doit diminuer beaucoup les efforts internes qui ont pu prendre naissance dans les pièces de l'isolateur pendant la manufacture.

Conclusions. — On croit, en résumé, que les avantages du type proposé sur les types industriels précédents, pour résister au claquage en service, seraient les suivants :

1° Quand l'isolateur est sec, la couronne et les formations d'effluves statiques sont limitées pratiquement au fil d'attache et au fil de ligne jusqu'à la tension d'amorçage d'arc.

2° Quand l'isolateur est mouillé, il n'y a ni couronne ni formation statique jusqu'à la tension d'amorçage d'arc. Les tensions d'amorçage pour des dimensions d'encombrement données sont par là augmentées.

3° La résistance aux courants de fuite par cloche va en croissant graduellement de la cloche supérieure à la cloche centrale. On tient compte ainsi du fait que les cloches inférieures se saliront probablement plus que les cloches supérieures. La répartition de la tension par cloche devient par suite uniforme quand l'isolateur devient sale et mouillé et qu'un courant de perte intense passe à sa surface.

4° Les capacités par cloche étant à peu près égales, la répartition de la tension par cloche sera uniforme quand l'isolateur sera propre et placé dans l'air sec.

5° Comme la répartition de la tension par cloche dépend du courant de capacité et du courant de pertes, la répartition de la tension par cloche, dans ces modèles, doit être à peu près uniforme dans toutes les conditions d'exploitation.

6° La résistance de l'isolateur à l'effort latéral, pour un poids donné et une résistance donnée aux efforts électriques, est assez élevée. Cela est dû à l'une des caractéristiques du type, à savoir la coïncidence de la ligne de force a du champ électrostatique et des lignes d'effort mécanique.

7° Le dessin des cloches individuelles est tel que, lorsqu'on les essaye avant l'assemblage, leur surface suit les lignes de force électrostatiques a. Ceci permet l'essai des pièces séparées à une fraction de la tension de service plus élevée qu'il n'était possible dans le cas des pièces séparées des modèles antérieurs.

8° En raison de la forme des pièces séparées et de l'isolateur entier après assemblage, les toitures de l'isolateur, quand elles sont frappées par des pierres, des balles de fusil, etc., ne se brisent pas au delà de la surface a. L'isolateur, par suite, offre encore un pourcentage élevé de sa résistance première à l'amorçage d'arc après que les toitures sont brisées. Ce même caractère tend à protéger l'isolateur d'un claquage complet pendant un amorçage en service.

9° On a appliqué un traitement uniforme, dans toute cette étude, à chaque caractéristique de l'isolateur qui peut affecter essentiellement sa durée en service.

G.-J. Gilchrest.

Revues, analyses et informations

L'industrie de l'azote en Allemagne pendant la guerre.

Le problème de la fixation de l'azote de l'air est un de ceux qui, depuis une vingtaine d'années, a attiré l'attention des électriciens tant en raison de l'importance économique de la question que du rôle prépondérant qu'a joué jusqu'à ces derniers temps l'électricité dans les procédés appliqués pour réaliser cette fixation. Dans des articles publiés dans divers périodiques et dans un volume récemment paru, MM. R.-C.-Pierre Jauréguy, ingénieur chimiste, H.-B. Froment, ingénieur agronome, et R.-E. Stéphen, ingénieur chimiste (1) ont fait connaître comment les Allemands sont parvenus, malgré le blocus, à obtenir l'acide azotique indispensable à la fabrication de leurs munitions de guerre, ainsi que les engrais nitrés ou ammoniacaux nécessaires à l'agriculture. Bien que la majeure partie de ces produits ait été obtenue par des procédés qui n'utilisent pas ou n'utilisent guère l'énergie électrique, nous avons pensé qu'il était néanmoins intéressant de donner à nos lecteurs, en utilisant les études précédentes, un aperçu des efforts réalisés en Allemagne en vue de parer à l'insuffisance des importations de nitrates de soude du Chili et du Pérou.

I. — Pour satisfaire à ses besoins, l'Allemagne importait, en 1913, 774 000 t de nitrates du Chili et du Pérou et 5 000 t de nitrate de calcium de Norvège; la plus grande partie, 600 000 t, était employée comme engrais. Le blocus ne lui permettant plus que les importations de Norvège, l'Allemagne eut recours pour la fabrication de l'acide nitrique aux deux procédés de synthèse connus : le procédé de Birkeland-Eyde qui, ainsi qu'on le sait, est celui qu'utilisent les usines norvégiennes, et le procédé Ostwald consistant à oxyder l'ammoniac sous l'influence d'un catalyseur.

Le premier exigeant une consommation considérable

(1) *L'Industrie allemande et la guerre.* Un volume, 21 cm × 14 cm, 160 pages. Prix : broché, 7,20 fr (majoration comprise).

Digitized by Google

d'énergie électrique et l'Allemagne ne disposant que d'un assez petit nombre de chutes d'eau aménagées pour la production de l'énergie électrique ne paraît pas avoir reçu une très grande extension. Cependant, dès avant la guerre, une usine avait été installée pour l'application de ce procédé à Muldenstein (Saxe), à proximité de gisements de lignites utilisés comme combustibles, et, si l'on s'en rapporte aux publications électrotechniques allemandes, il semble bien que d'autres usines importantes aient été créées pendant la durée de la guerre.

Quoi qu'il en soit, c'est surtout grâce au procédé Ostwald que l'Allemagne parvint à fabriquer l'acide azotique nécessaire à ses fabrications de guerre. Ce procédé était d'ailleurs appliqué industriellement un peu avant la guerre dans l'usine Kayser, de Spandau, et dans les usines de la Badische Anilin und Soda Fabrik, de Ludwigshafen, de la Chemische Fabrik Griesheim Electron, de Francfort-sur-Mein, et dans l'usine Hochst, ces trois dernières utilisant une variante du procédé Ostwald, le procédé Frank-Caro.

Kayser emploie des tubes de 40 à 60 cm, oxydant 370 kg d'ammoniac en 24 heures avec une consommation de 500 kg de coke pour le chauffage des tubes, le rendement garanti étant de 90 à 95 pour 100. La Badische Anilin emploie des tubes construits par la Société dite « Bamag » (Berlin Anhaltische Maschinenbau A. G.) qui, d'après les affirmations des constructeurs, oxydent 750 kg d'ammoniac en 24 heures et ne consomment pas de combustible de chauffage, la chaleur produite par la réaction (fortement exothermique) étant utilisée à maintenir constante la température du catalyseur. Celui-ci, qui était à l'origine de la mousse de platine, est constitué par des oxydes des métaux du groupe du fer additionnés de sels de bismuth. Le rendement, en opérant à 700°, est supérieur à 90 pour 100. Une installation complète, qui primitivement permettait d'oxyder 12000 t d'ammoniac par an (il en a été effectué plus de 30 au cours de 1915), est aujourd'hui calculée pour oxyder annuellement 17000 t.

II. — Il fallait de l'ammoniac pour l'alimentation de ces usines. L'Allemagne n'en manquait pas car ses usines à gaz et ses cokeries produisaient, en temps de paix, une moyenne de 500000 t de sulfate d'ammonium par an. Mais l'agriculture en absorbait la presque totalité, 450000 t, et, pour ne pas trop réduire la consommation agriculture, il fallut fabriquer l'ammoniac.

1. Le procédé synthétique de Haber, par combinaison de l'azote extrait de l'air liquide avec l'hydrogène, avait été mis au point avant la guerre par deux chimistes de la Badische Anilin und Soda Fabric, Bosch et Mittasch, et une usine avait été installée en 1913 à Oppau, près de Ludwigshafen pour son application. Cette usine fut considérablement agrandie pendant la guerre, d'autres furent créées (1).

2. Mais c'est surtout à la cyanamide calcique que l'on s'adressa pour fabriquer l'ammoniac.

Les trois grosses usines de cyanamide fonctionnant en Allemagne avant la guerre, de Trostberg, à la Bayerische Stickstoffwerke A. G. (procédé Frank-Caro), de Kaapsack, à l'Aktien Gesellschaft fur Stickstoffdünger (procédé Polzenius), de Gross-Kayna (Geiseltal), aux Mitteldeutsche Stickstoffwerke (procédé Polzenius), affirment avoir produit 70000 t de cyanamide en 1913; mais ce nombre paraît exagéré et devoir être ramené à 30000 ou 40000 t. Fin novembre 1915 entraient en fonctionnement les deux nouvelles usines dont il est question dans la note ci-dessus. La construction d'une troisième usine empruntant à l'Alz sa force motrice fut entreprise en 1917 par les Bayerische Stickstoffwerke.

L'Autriche-Hongrie suivit le mouvement. En juillet 1916, la Ungarische Stickstoffdunger Industrie A. G. portait son capital de 9 à 15 millions de couronnes et construisit à Izentmarton une usine employant comme combustible le gaz naturel de Siebenburg. Diverses autres sociétés s'unirent pour fonder une compagnie de construction d'usines à cyanamide; la première usine construite par cette société fut celle de Maria-Rast, près de Marburg (Styrie). Les Bayerische Stickstoffwerke se sont intéressés à la Ungarische Erdgas A. G. qui exploite les gaz naturels de Siebenburg en vue de construire dans cette région des usines à carbure de calcium et à cyanamide. Enfin, au début de 1917, se fondaient à Vienne, au capital de 10 millions de couronnes, les Osterreichische Stickstoffwerke.

3. Le procédé Serpek au nitrure d'aluminium et le procédé par oxydation et hydratation de cyanures préparés au four électrique n'ont pris en Allemagne qu'un faible développement.

Beaucoup d'autres procédés ont été essayés; notamment le traitement des jus de betteraves par un lait de chaux qui permettrait d'obtenir 380 kg de sulfate d'ammonium de 600 t de betteraves. Mais ces procédés n'ont pas été utilisés.

III. — Le gouvernement allemand s'est préoccupé de maintenir la vitalité de la nouvelle industrie après la guerre et il a mis à l'étude la question d'un monopole de l'azote.

Un projet de loi, déposé en mars 1915 au Reichstag, autorisait le Bundesrat (Conseil fédéral) à instituer un monopole commercial valable jusqu'au 31 mars 1922 pour: les minéraux azotés inorganiques (nitrate de potassium et nitrate du Chili), les composés azotés artificiels pouvant être préparés à partir de l'azote ou des produits naturels (acides nitrique et nitreux, ammoniac, cyanamide, etc.), les engrais azotés préparés à partir des produits précédents (nitrates et nitrites artificiels, sulfate d'ammonium, urée, etc. Ce projet, qui avait surtout pour but de maintenir l'azote à un prix minimum, fut soutenu par la Deutsche Bank, mais attaqué par le groupe de la Badische qui, par le procédé Haber, produit le kilogramme d'azote à un prix moindre que les usines à cyanamide. Il semble avoir été abandonné.

IV. — D'après les renseignements communiqués au Reichstag la production allemande des produits azotés en 1916 est d'au moins 500000 t d'azote combiné, ce qui correspond à 2500000 t de nitrate de soude, soit environ la totalité de l'exportation chilienne dans le monde entier. Si l'on tient compte des usines créées depuis 1916, on peut estimer que l'Allemagne, après la guerre, pourra exporter une quantité de produits azotés correspondant à 60 ou 70 pour 100 de ses propres besoins. Mais il convient de remarquer que la possibilité de cette exportation est liée au prix de revient des composés azotés synthétiques et que si le Chili s'impose le sacrifice d'un abaissement du prix du nitrate de soude la nouvelle industrie allemande se trouvera dans des conditions difficiles.

(1) Ces créations furent facilitées par les augmentations importantes de capital que les sociétés de chimie effectuèrent avec l'appui du gouvernement pendant la guerre; pour n'en citer qu'une, la Badische Anilin porta son capital de 14 millions de marks à 54 millions en 1914 et 90 millions en 1917. Des prêts furent aussi consentis aux sociétés: c'est ainsi que les Bayerische Stickstoffwerke, dont l'usine de Trostberg disposait d'une puissance hydraulique de 15000 ch, prise sur l'Alz, et produisait 20000 t de cyanamide, reçurent un prêt de 40 millions de marks à condition de construire en Silésie et dans le centre de l'Allemagne, à proximité de gisements de houille, deux grandes usines à cyanamide; les résultats financiers de cette extension de la fabrication furent d'ailleurs avantageux pour cette Société car, alors qu'elle distribuait en 1914, avec un capital de 8000000 marks, un dividende de 8 pour 100, le dividende s'élevait à 12 pour 100 en 1915 et à 14 pour 100 en 1917.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Société industrielle d'Energie électrique.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 9 DÉCEMBRE 1918.

La Société étant privée des ressources de ses deux principales filiales, la Compagnie d'Électricité de Varsovie et la Société continentale de Traction et d'Éclairage par l'Électricité, ne peut comparer utilement les résultats des trois derniers exercices avec ceux qui ont précédé la guerre.

Le compte de profits et pertes, y compris le report de l'exercice précédent de 1 450 825,07 fr, présente un bénéfice brut de 1 790 063,15 fr. Déduction faite des frais généraux et divers, il reste 1 690 265,96 fr. La situation actuelle ne permet pas encore de procéder à la répartition de ces bénéfices, et le Conseil propose de les reporter à nouveau.

La Société est toujours sans nouvelles de la station centrale de Libau (Russie), elle n'a pas encore reçu non plus de renseignements précis sur les exploitations de la Compagnie électrique anversoise et de la Compagnie d'Électricité de Varsovie dans lesquelles elle est intéressée.

Par contre, la Société toscane d'Entreprises électriques a distribué le même dividende de 40 lires que l'année précédente. La Société des Télégraphes Multiplex (système E. Mercadier et Magunna) a également distribué un dividende de 12,50 fr comme en 1917.

BILAN AU 30 JUIN 1918.

Actif.

	fr
Titres et participations	10 187 328,08
Caisse et banques	1 324 960,34
Bons de la Défense nationale	1 000 000 »
Débiteurs divers	2 026 338,30
Mobilier	1 422,10
	14 540 048,82

Passif.

	fr
Capital	10 000 000 »
Créditeurs divers	492 535,61
Réserve statutaire	341 947,25
Fonds de prévoyance et de réserve	2 115 300 »
Profits et pertes	1 690 265,96
	14 540 048,82

Banque française pour le Commerce et l'Industrie.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DE 1918.

Les actionnaires, réunis le 23 courant sous la présidence de M. R. Boudon, ont approuvé les comptes du dernier exercice et fixé le dividende à 6 pour 100, soit 15 fr brut par action, payable à partir du 28 décembre.

Le rapport du Conseil fait ressortir l'extension des opérations sociales. La Banque a prêté son concours à la plupart des affaires réalisées sur la place, principalement en faveur des entreprises touchant l'intérêt national : crédits, émissions d'actions, de bons, d'obligations. Elle a apporté également d'importantes souscriptions aux emprunts 4 pour 100, 1917 et 1918, aux bons et obligations de la Défense et à l'Emprunt Marocain 5 pour 100, 1918.

La situation de trésorerie s'affirme de plus en plus large ; les comptes de dépôt sont en augmentation sensible.

Les anciens reports sont réduits de 1 450 000 fr. En regard du compte « Immeuble » qui est stabilisé à 10 000 000 fr, il est créé une réserve immobilière dotée cette année d'une première attribution de 200 000 fr.

Les bénéfices nets, après amortissements, ressortent à 5 057 659 fr contre 4 157 437 fr l'année précédente. Le dividende absorbant 3 600 000 fr, les réserves et le report à nouveau sont dotés de 1 457 669 fr.

Les mandats de MM. R Boudon et L. Vincent, administrateurs, de M. de Lagotellerie, censeur, ainsi que de MM. A. Bergaud et E. Frachon, commissaires, ont été renouvelés.

Omnium Lyonnais de Chemins de fer et Tramways.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 28 NOVEMBRE 1918.

Les bénéfices d'exploitation des divers réseaux de la Compagnie ont été, en 1917, inférieurs à ceux réalisés en 1916, les dépenses ayant été en progression. Toutefois, le relèvement des tarifs obtenu sur la plupart des réseaux a eu une répercussion heureuse sur les résultats des huit premiers mois de 1918.

Le bénéfice brut de l'exercice 1917-1918 a été de 1 317 650,60 fr, contre 1 127 162,01 fr l'an dernier.

Après déduction des frais généraux il reste un produit net de 957 182,62 fr. En ajoutant à ce montant le solde reporté le bénéfice disponible ressort à 1 002 785,50 fr.

Sur cette somme, il est versé : 5 pour 100 à la réserve légale sur le bénéfice de cette année, 6 pour 100 bruts aux 100 000 actions, 15 pour 100 au Conseil d'administration. Un dividende supplémentaire de 2 pour 100 est attribué aux actions. Il est prélevé 66 666,67 fr pour les parts de fondateur. Le report à nouveau est de 41 861,18 fr.

Le dividende de 8 fr a été payé à partir du 2 décembre 1918.

Digitized by Google

Le Conseil rend compte des résultats d'exploitation des diverses sociétés dont les titres composent son portefeuille.

Chemin de fer électrique souterrain Nord-Sud de Paris. (Voir le compte rendu de l'assemblée générale dans la *R. G. E.* du 24 août 1918, t. IV, p. 285.)

Société franco-italienne du Chemin de fer Métropolitain de Naples. — Cette Société a pour objet social la construction et l'exploitation d'un chemin de fer souterrain dans Naples dont les travaux préparatoires, à peine entrepris lors de l'ouverture des hostilités, sont restés interrompus depuis août 1914.

A la fin de 1917, la Société, ne pouvant exécuter son programme par suite des événements, a entamé sous les auspices et avec l'appui du gouvernement français des négociations avec le gouvernement italien pour obtenir l'annulation de la concession et la restitution des cautionnements déposés. Ces négociations se poursuivent actuellement et l'on espère que le gouvernement italien, reconnaissant le bienfondé des réclamations, ne tardera pas à y faire droit.

Compagnie des Chemins de fer à voie étroite de Saint-Etienne, Firminy, Rive-de-Gier et extensions. — Cette Société poursuit son développement. Ses recettes ont continué à croître, mais elle a dû augmenter les indemnités de vie chère au personnel et elle a demandé et obtenu de nouveaux relèvements de tarifs. Elle a pu ainsi continuer la réfection de ses voies et commencer à construire le matériel roulant nécessaire à l'extension de son exploitation.

La pénurie des moyens de transport dans la région du bassin de la Loire desservie par la Société a orienté celle-ci vers une nouvelle exploitation : les transports industriels et notamment le transport des charbons des puits de mines aux usines de la région. Elle approvisionne déjà l'usine à gaz de Saint-Chamond et, prochainement, elle va être reliée à Saint-Etienne aux puits de la Compagnie des Mines de la Loire pour alimenter l'importante usine de la Compagnie électrique de la Loire et du Centre.

La Compagnie a, le 1er juillet dernier, procédé au remboursement du quart de son capital actions tout en distribuant, comme l'année dernière, un dividende de 30 fr.

Tramways d'Avignon. — Cette Compagnie a distribué un dividende de 10 fr comme l'année dernière. Elle a obtenu un relèvement de tarif les dimanches et jours fériés. Actuellement, en raison des nouvelles indemnités de vie chère réclamées par le personnel, elle négocie auprès de la Municipalité pour obtenir en compensation une nouvelle augmentation de tarifs.

En 1917, les bénéfices d'exploitation se sont élevés à 126033,99 fr, en augmentation de 29 092,70 fr sur ceux de 1916. Pendant les neuf premiers mois de l'année 1918 ils se sont élevés à 95 904,09 fr contre 103871,87 fr pendant la période correspondante de 1917.

Chemins de fer sur routes d'Algérie. — Cette Compagnie a vu ses bénéfices progresser tous les ans depuis 1903, ils sont passés de 425397,26 fr à 1 171 026,89 fr en 1917. Cette année, ils sont inférieurs par suite de l'augmentation des dépenses et des indemnités au personnel. En compensation, elle a obtenu divers relèvements de tarifs. La Société a été invitée par le département d'Alger à faire connaître les nouvelles compensations qui devaient lui être accordées pour que son personnel puisse bénéficier des mêmes avantages que les agents des Compagnies de chemins de fer. Un accord nouveau vient d'être conclu.

Compagnie génevoise des tramways électriques. — Les bénéfices de cette Société ont depuis 1910 progressé d'une façon continue ; ils sont passés de 509692 fr à 1 192668 fr. Le dividende distribué a été de 4 pour 100 pour l'exercice 1917.

Société anonyme Westinghouse. — C'est en 1915 que la Compagnie s'est assuré des lots importants d'actions de cette Société. (Voir le compte rendu de l'assemblée générale dans la *R. G. E.* du 24 août 1918, t. IV, p. 286).

BILAN AU 30 JUIN 1918.

Actif.

	fr
Immeuble	700 000 »
Caisse et disponibilités en banque	2 320 994,86
Rentes françaises 4 pour 100 et 5 pour 100 et bons de la Défense nationale	2 937 307,80
Coupons à encaisser	187 704,59
Débiteurs divers	1 826 197,15
Avances aux filiales	701 278,66
Titres des filiales	3 839 446 »
Actions	9 889 399,30
Obligations	976 052,50
Etudes	1 »
Usine d'Arudy	1 »
Frais de premier établissement	1 »
Mobilier	1 »
	23 378 384,86

Passif.

	fr
Capital	10 000 000 »
Créanciers divers	2 856 002,33
Titres à libérer	2 969 250 »
Coupons Omnium Lyonnais	106 619,87
Réserve légale	534 089,24
Fonds de prévoyance	5 000 000 »
Compte provisionnel	909 627,92
Bénéfice net de l'exercice 1917-1918	957 182,62
Report précédent	45 602,88
	23 378 384,86

Digitized by Google

SECTION DE LÉGISLATION

Notes sur l'application pratique de la loi du 15 juin 1906 et des règlements annexes (*suite*) (1)

L'auteur continue la suite des notes publiées antérieurement. Dans le présent article se trouve une espèce relative aux demandes de distribution d'énergie électrique en concurrence éventuelle avec une distribution existante de gaz, qui démontre la grande prudence que l'industrie doit apporter en cette matière; puis divers renseignements, relatifs aux installations intérieures chez les abonnés. Au point de vue des autorisations pour permissions de voirie, l'auteur cite une espèce où le maire de la commune émettait des exigences contraires à la loi. Dans diverses espèces, l'auteur insiste sur la nécessité pour les industriels de se conformer à la loi du 15 juin 1906 et aux règlements édictés pour son application.

Concession. — CONCESSION DE GAZ EXISTANTE AVEC PRIVILÈGE. — DEMANDE DE DISTRIBUTION D'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE CONCURRENTE.

Quand une ville où fonctionne une concession de gaz avec cahier des charges contenant des clauses analogues aux suivantes :

« La commune de..... concède à..... l'éclairage par le gaz hydrogène carboné des rues..... pour..... années.....

» Cette concession emporte le pouvoir exclusif de poser des tuyaux sur les rues et places de la petite voirie pour satisfaire tant à l'éclairage public qu'à l'éclairage particulier.

» Le concessionnaire aura à se pourvoir devant qui de droit pour obtenir le même pouvoir en ce qui concerne la grande voirie.

» Si, par suite des découvertes nouvelles ou par suite de perfectionnements quelconques dans la fabrication du gaz, il venait à établir à la faveur de moyens applicables à..... un mode d'éclairage aussi bon et plus économique que celui en vue duquel est passé le présent marché et que l'économie égalant au moins 10 pour 100 fût démontrée par une expérience de trois années dans d'autres villes de France, la ville de ..... aurait la faculté de se faire admettre à jouir de la modification de prix et des améliorations ainsi introduits, tant pour l'éclairage public que pour l'éclairage particulier, à dater d'un an après la constatation qui lui serait faite par experts », et qu'elle est saisie d'une demande d'établissement de distribution d'énergie électrique par permission de voirie, elle ne saurait accorder ces permissions sans courir de risques et sans s'exposer à des dommages-intérêts.

En effet, la jurisprudence actuelle, avec la rédaction indiquée ci-dessus, considère qu'il y a privilège exclusif d'éclairage accordé à la Compagnie du gaz (voir notamment les arrêts du Conseil d'État des 26 décembre 1891 (ville de Saint-Etienne) et du 10 janvier 1902 (commune de Déville).

Il appartient à la ville, si elle désire obtenir une distribution d'éclairage électrique, de mettre en demeure, conformément à des précédents sanctionnés par la jurisprudence du Conseil d'État, la Compagnie du gaz de l'établir et de l'exploiter, par application et suivant la procédure des clauses du cahier des charges, citées ci-dessus.

Si la Compagnie du gaz refuse, en cas de désaccord sur les conditions, il appartient à la ville d'engager une action contentieuse s'appuyant sur les clauses précitées.

Concession. — MISE EN ADJUDICATION D'UNE CONCESSION D'ÉCLAIRAGE, DE CHAUFFAGE ET DE FORCE MOTRICE PAR LE GAZ ET L'ÉLECTRICITÉ.

Quand une commune, pour obtenir des conditions favorables, met en adjudication la concession d'éclairage, de chauffage et de force motrice par le gaz et l'électricité, la concession, en ce qui concerne la distribution d'énergie électrique, ne peut être donnée et approuvée qu'après l'accomplissement préalable des formalités imposées par la loi du 15 juin 1906, notamment en ce qui concerne le cahier des charges, l'enquête, etc.

Concession. — INSTALLATIONS INTÉRIEURES.

A. — *Exécution des travaux par le concessionnaire.* — Une clause, ajoutée à l'article 15 du cahier des charges type, aux termes de laquelle toutes les installations intérieures seront exclusivement exécutées par le concessionnaire constitue une dérogation au cahier des charges type qui est susceptible d'approbation, si le

(1) Voir les numéros de la *R. G. E.* des 21 septembre, p. 435, 16 novembre, p. 735, 30 novembre, p. 853 et 28 décembre 1918, p. 1 027, t. IV.

Digitized by Google

concessionnaire, d'accord avec la commune, fournit les justifications nécessaires.

Toutefois, une telle clause doit être complétée par une addition pour expliquer formellement qu'elle ne s'applique pas aux appareils portatifs d'éclairage (lampes, etc...), qui sont, en effet, des objets de commerce courant.

Une telle extension serait, en effet, contraire aux principes de la liberté du commerce et de l'industrie.

B. — *Vérification du Service du contrôle.* — Le Service du contrôle ne peut, sur la demande d'un concessionnaire dont le traité est antérieur au 15 juin 1906, se refuser à l'application de l'article 19 du cahier des charges type aux installations intérieures des abonnés et cela dans l'intérêt de la sécurité de l'exploitation qui doit primer toutes les questions d'intérêt particulier. C'est pour la même raison que l'arrêté technique, prévu par l'article 19 de la loi du 15 juin 1906, s'applique même aux ouvrages anciens.

C. — *Imposition d'une taxe de vérification.* — Si l'article 19 du cahier des charges type du 17 mai 1908 prévoit que « le courant ne sera délivré aux abonnés que s'ils se conforment, pour leurs installations intérieures, aux mesures qui leur seront imposées par le concessionnaire avec l'approbation de l'ingénieur en chef du contrôle... », il n'en résulte pas le droit pour le concessionnaire d'imposer une taxe aux abonnés pour la vérification de leurs installations, en raison de l'absence dans le cahier des charges de toute stipulation à cet égard, quelle que soit d'ailleurs l'utilité, et même la nécessité incontestable, de cette vérification dont les frais doivent rester à la charge du concessionnaire.

Permission de voirie. — Autorisation accordée avec obligation de paiement de droits de voirie. — Illégalité.

Doit être considérée comme contraire à l'article 5, paragraphe 3 de la loi du 15 juin 1906, la clause d'un arrêté municipal autorisant l'établissement d'une canalisation électrique et portant que « le permissionnaire acquittera dans la caisse du receveur municipal les droits de voirie imposés dans la commune à raison des dépôts ou excavations sur la voie publique ».

En effet, il importe de remarquer d'abord que les mots « droits de voirie », insérés dans l'arrêté, ne peuvent être pris dans le sens donné à ces mots par la circulaire du ministre de l'Intérieur du 2 avril 1841, relative aux droits qui sont dus pour la délivrance d'alignements, d'autorisation de bâtir ou de réparer, etc...

Il s'agit en l'espèce de taxes dues pour dépôt temporaire ou encombrement, analogues aux droits de place et de stationnement.

Cette clause de l'arrêté tend donc à imposer au permissionnaire, sous la dénomination de droits de voirie, une taxe spéciale en raison de l'occupation du domaine public, pour l'établissement de la ligne projetée.

Or, la pose de canalisations électriques dans le sol, ou prenant appui sur le sol des voies publiques, fait l'objet des redevances pour occupation du domaine public fixées par le décret du 17 octobre 1907, modifié par celui du 7 septembre 1912, et il faut admettre que lesdites redevances tiennent compte de toutes les sujétions subies par la voie publique du fait de cette occupation, soit au moment des travaux, soit postérieurement.

Superposer à ces redevances pour occupation du domaine public des taxes pour dépôt temporaire ou encombrement du sol aboutirait à imposer au permissionnaire une charge pécuniaire autre que les redevances déterminées par les décrets précités, ce qui serait contraire à l'article 5, paragraphe 3 de la loi du 15 juin 1906.

Contrôle. — Frais de contrôle d'État. Leur exigibilité.

Certaines distributions, autorisées avant le 15 juin 1906 même par voie de concession, peuvent, aux termes des cahiers des charges qui les régissent, être dispensées de payer les frais du contrôle communal exercé sur ces distributions, lesdits frais restant explicitement à la charge des communes. Mais il ne saurait en être ainsi pour les frais de contrôle dus à l'État.

La circulaire ministérielle du 13 mars 1909 a établi, d'abord, le principe que les frais de contrôle constituent une taxe nouvelle, créée par la loi du 15 juin 1906 et immédiatement applicable à l'industrie électrique, comme le contrôle lui-même qu'elle a pour objet de rémunérer et qu'ils sont par suite exigibles pour toutes les entreprises antérieures ou non à la loi.

Cette circulaire a ensuite stipulé que, pour les distributions établies en vertu de concession, fussent-elles exonérées de toute obligation à l'égard des communes, la part des frais dus à l'État doit toujours être perçue. Il y a donc lieu d'en prescrire la perception.

Questions techniques. — Établissement des distributions. — Exécution des travaux. — Exploitation. — Irrégularités.

Commet une grave irrégularité et s'expose aux sanctions prévues par la loi l'entrepreneur d'une distribution qui exécute les travaux, sans attendre l'accord des services intéressés et l'approbation du projet d'exécution.

Il en est de même s'il met la distribution en exploitation sans exécuter les travaux prescrits par le service du contrôle ou sans avoir reçu l'autorisation de circulation du courant.

(*A suivre.*)

A. Monmerqué,
Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF :
Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 3. — 18 JANVIER 1919.

Chronique. — A propos du freinage et de la récupération avec les moteurs à collecteur. — Sur un montage des compteurs enregistrant l'énergie des postes triphasés permettant la détermination de l'énergie magnétisante et donnant une plus grande sécurité de bon fonctionnement. — Légion d'honneur. — Bibliographie : L'industrie allemande et la guerre, par R.-C.-Pierre JAURÉGUY, p. 81-82.

Section scientifique et technique. — Relations de réciprocité découlant des lois de Kirchhoff, par J.-B. POMEY, p. 83. — Revues, analyses et informations : Bobine d'induction, potentiel secondaire à la fermeture, p. 87.

Section industrielle. — Le retour du courant de traction dans un réseau à courant alternatif monophasé, par J. LHÉRIAUD, p. 91. — Le transport des marchandises sur les voies ferrées électriques d'intérêt local, par Lucien PAHIN, p. 114, — Revues, analyses et informations : Le sens pratique dans l'éducation, condition du progrès de la Science et de l'Industrie, p. 118.

Section de Législation. — Législation, jurisprudence, réglementation : Circulaire recommandant aux préfets de n'accorder l'installation de distributions d'énergie électrique par permission de voirie que sur avis du ministre des Travaux publics et des Transports, p. 119; Décisions concernant la vente et le commerce du magnésium, du ferro-chrome, du ferro-tungstène, du ferro-molybdène, du chlorure de magnésium et du siliciure de calcium, p. 119; Arrêté fixant les attributions du cabinet du ministre et des services de l'Administration centrale du ministère de la Reconstitution industrielle, p. 120; Décret réglementant la vente, la circulation et l'emploi du pétrole et de l'essence, ainsi que la circulation des véhicules automobiles, p. 120.

A propos du freinage et de la récupération avec les moteurs à collecteur.

— Nous recevons de M. Blondel la lettre suivante :

Dans le numéro du 7 décembre 1918 de la « Revue générale d'Électricité » est publié un intéressant article du docteur Behn-Eschenburg sur l'emploi des moteurs monophasés à collecteur excités en dérivation pour le freinage ou la récupération d'énergie. Dans cet article, l'idée d'employer le moteur en dérivation pour le freinage et la récupération est présentée comme une idée absolument nouvelle et contraire à toutes les opinions reçues. Il y a là, je crois, une sérieuse exagération, car dans une étude que j'ai publiée il y a quinze ans, dans « l'Eclairage électrique » du 27 février 1904 sur les moteurs à collecteur, j'ai non seulement donné tous les diagrammes et toutes les formules nécessaires pour l'étude du fonctionnement du moteur excité en dérivation et pour son fonctionnement éventuel en génératrice, mais j'ai eu soin de signaler à la page 333 comment le diagramme du fonctionnement en génératrice se déduit de celui du fonctionnement en moteur et comment est représenté dans ce cas le couple résistant produit. J'ai fait remarquer textuellement que « le moteur peut fonctionner comme frein ».

Dans tous mes diagrammes, j'ai supposé que la réactance était forte par rapport à la résistance.

Mes diagrammes et mes formules contenaient plus d'explications et de détails théoriques sur le fonctionnement du moteur en dérivation comme générateur que n'en donne l'article du 7 décembre 1918 de la « Revue générale d'Électricité » et ces détails me semblent suffisants pour tout homme du métier qui veut réaliser la récupération par ce procédé.

A. BLONDEL,
Membre de l'Institut.

Sur un montage des compteurs enregistrant l'énergie des postes triphasés permettant la détermination de l'énergie magnétisante et donnant une plus grande sécurité de bon fonctionnement.

— A propos de cet article paru dans la Revue, le 17 août 1918, t. IV, p. 214, nous avons reçu la lettre suivante :

J'ai lu avec grand intérêt l'article de M. P. Bourguignon, paru dans le numéro du 17 août de votre Revue. Par une étrange coïncidence, la proposition de M. Bourguignon est tout à fait la même que celle publiée par moi dans le numéro du 15 mars 1914 de l' « Elettrotecnica », t. 1er, p. 134. J'ajoute que le procédé n'est guère à conseiller à cause des erreurs qui peuvent l'affecter lorsque la charge est déséquilibrée. C'est pourquoi, tout dernièrement, dans « l' Eletttrotecnica » du 5 juin 1918, j'ai proposé une nouvelle méthode. Elle est basée sur l'emploi de deux

Digitized by Google

compteurs ordinaires triphasés et elle garde tous les avantages du dispositif rappelé par M. Bourgnignon.

Angelo Barbagelata,
Professeur à l'Ecole polytechnique de Milan, Rédacteur en chef de l' « Elettrotecnica ».

Légion d'honneur. — Nous apprenons avec plaisir la nomination au grade de chevalier d'un de nos plus anciens collaborateurs, membre de notre Comité de rédaction, M. H. Armagnat, ingénieur électricien.

Cette nomination est accompagnée de la citation suivante :

Titres exceptionnels : ingénieur électricien du plus haut mérite qui, dégagé de toute obligation militaire en raison de son âge, s'est offert pour participer aux études de l'établissement de la radiotélégraphie militaire. Est allé fréquemment aux armées et a fait de nombreuses ascensions en dirigeable, dans des conditions souvent dangereuses, pour mettre au point et perfectionner les appareils et les méthodes. A rendu des services considérables.

Ancien ingénieur de la maison Carpentier, M. Armagnat s'est particulièrement occupé des appareils de mesures, des bobines d'induction et des magnétos. Les deux ouvrages qu'il a publiés sur les mesures électriques et sur la bobine de Ruhmkorff sont aujourd'hui devenus classiques. Mais c'est surtout, par les nombreux articles qu'il a publiés dans « L'Eclairage électrique » et dans « La Revue électrique » qu'il a fait connaître au public les résultats des études expérimentales et théoriques qu'il s'est trouvé amené à entreprendre pour élucider certaines questions délicates. Il a en outre rendu maints services à l'industrie électrique comme secrétaire général de la Société internationale des Electriciens et comme rapporteur général du Congrès international des Applications de l'Electricité, de Marseille, en 1908. Ses solides connaissances pratiques dans le domaine dont il s'est fait une spécialité sont d'ailleurs constamment mises à contribution dans les nombreuses commissions dont il fait partie.

Aussi sommes-nous certain d'être l'interprète des ingénieurs électriciens en adressant ici à notre collaborateur et ami nos chaleureuses félicitations pour la distinction honorifique, si bien méritée, qui vient de lui être accordée.

J. B.

Bibliographie : L'Industrie allemande et la guerre. par R.-C.-Pierre Jacheguy, ingénieur chimiste, avec la collaboration de H.-B. Froment, ingénieur agronome, et de R.-E. Stephen, ingénieur chimiste [1]. — La question qui fait l'objet de cet ouvrage a déjà été traitée par les auteurs dans diverses études fort remarquées [2]. En l'exposant dans une brochure qu'on peut se procurer en librairie, ils en ont mis la lecture à la disposition d'un plus grand nombre de personnes, et, en cela, on ne saurait que le louer.

C'est qu'en effet cette question, bien que traitée par les auteurs surtout au point de vue chimique, ce qui est naturel étant données leurs occupations professionnelles, intéresse l'industrie entière.

L'ouvrage est divisé en trois parties.

La première, intitulée « l'Industrie allemande d'hier » n'occupe que 14 pages dont la moitié est consacrée à des tableaux donnant le montant des importations et exportations allemandes pour un certain nombre de matières premières et produits fabriqués.

La seconde, « l'Industrie allemande d'aujourd'hui », beaucoup plus développée puisqu'elle occupe 90 pages, est divisée en trois parties : « l'effort industriel » où l'on trouve des renseignements fort intéressants sur « le problème de l'azote », « le problème des combustibles », « le problème des métaux », etc. ; « l'effort alimentaire » ; enfin « l'évolution économique de l'industrie allemande pendant la guerre ».

Dans la troisième partie, les auteurs étudient « l'Industrie allemande de demain ». Ils y montrent les efforts qui ont été faits de l'autre côté du Rhin pour permettre à l'industrie et au commerce allemands de conserver après la guerre le rang qu'ils tenaient auparavant.

« L'Allemagne, concluent les auteurs, a réfléchi à tous les problèmes de l'après-guerre et s'est rendu compte que la reprise des relations économiques ne se ferait pas sans difficultés. Le gouvernement impérial, avec l'aide des dirigeants de l'industrie, a examiné avec le plus grand soin la meilleure manière de rendre à la Confédération germanique la place qu'elle occupait sur le marché mondial avant les hostilités. Ayant compris que la reprise individuelle de la lutte économique risquerait de donner des résultats peu favorables, l'industrie et le commerce allemands ont réalisé une forte concentration de leurs forces et ils ont obtenu de leur gouvernement l'assurance du retour aussi rapide que possible au commerce libre, seule forme permettant d'après eux d'atteindre rapidement le but qu'ils se sont assigné. »

Il est évidemment indispensable de contrecarrer ces préparatifs de lutte économique. Comment le faire ? C'est ce que les auteurs indiquent en quelques suggestions qui forment les conclusions de leur ouvrage.

Ajoutons que, bien que les auteurs aient surtout considéré l'industrie chimique et la métallurgie, les renseignements que contient l'ouvrage intéressent toutes les branches de l'industrie, le fonctionnement de celles-ci dépendant de la fourniture des matières premières produites par la chimie et de la métallurgie. L'ouvrage s'adresse donc à tous les industriels soucieux de conjurer la crise économique qu'a fait naître la guerre.

(1) Un vol., 21 cm × 14 cm. 160 pages. Editeurs : H. Dunod et E. Pinat, 47 et 49, quai des Grands-Augustins, Paris, VIe. Prix broché, 7,20 fr (majoration comprise).

(2) L'Industrie allemande et la guerre. *Chimie et Industrie*, juillet 1918, t. I, p. 159-238. L'évolution de l'industrie allemande pendant la guerre. *La Technique moderne*, août 1918, t. X, p. 353-370.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Relations de réciprocité découlant des lois de Kirchhoff

Dans un précédent article, paru dans la « R. G. E. » du 3 août 1918, tome IV, p. 131 et 132, l'auteur a établi par l'application du principe des vitesses virtuelles une relation donnant la force électromotrice dans chacune des branches d'un réseau de conducteurs en fonction de la dérivée de l'énergie Joule par rapport au courant et une seconde relation réciproque de la précédente. Ce sont des relations de réciprocité analogues découlant des lois de Kirchhoff que l'auteur examine dans l'article ci-après.

Je distinguerai plusieurs catégories de phénomènes qui peuvent donner lieu à des lois de réciprocité; il y a tout d'abord le parallélisme de propriétés entre l'énergie mécanique, l'énergie électrostatique, l'énergie cinétique par exemple ; il y a ensuite dans un même réseau certaines relations de réciprocité entre deux branches ; il y a aussi des théorèmes directs relatifs aux intensités et des théorèmes inverses relatifs aux forces électromotrices ; enfin il y a des systèmes de conducteurs soumis à l'action de forces électromotrices, auxquels on peut faire correspondre par dualisme d'autres systèmes de conducteurs qui reçoivent du courant par leurs nœuds ou sommets.

Ce sont ces divers aspects que je vais considérer ci-après successivement ; bien que la plupart des résultats soient connus, il y a quelques détails que je crois nouveaux.

Réciprocité dans les expressions des forces électromotrices et des intensités. — Dans un précédent article j'ai montré que si l'on cherche les équations du mouvement de l'électricité dans un réseau de conducteurs linéaires, dit réseau de Kirchhoff, celles-ci peuvent se mettre sous une forme simple, en introduisant la puissance calorifique J qui représente la quantité de chaleur totale dissipée par seconde selon la loi de Joule dans les diverses branches du réseau.

Tout d'abord, le nombre des intensités inconnues doit être réduit, grâce aux équations de continuité relatives aux sommets et qui sont de véritables équations de liaison, au nombre minimum qui est égal au nombre des degrés de liberté du système. La puissance calorifique J s'exprime alors en fonction des intensités indépendantes ; elle peut être notée J_i ; et elle est une fonction quadratique définie (positive) de ces variables.

D'autre part, la puissance fournie par les forces électromotrices E des diverses branches est, si l'on appelle I l'intensité de la branche correspondante ΣEI; si l'on introduit les intensités i qui sont indépendantes, on déterminera les forces électromotrices indépendantes e correspondant aux intensités i, par la condition que la relation

$$\Sigma EI = \Sigma ei \tag{1}$$

soit une identité.

C'est dans ces conditions que l'on a

$$e_k = \frac{1}{2}\frac{\partial J_i}{\partial i_k}. \tag{2}$$

Ces équations (2) résolues, donnent les i en fonction des e et par cette substitution J peut s'exprimer au moyen des forces électromotrices indépendantes e ; elle pourra être notée J_e et sera une forme quadratique définie positive des e et l'on aura

$$i_k = \frac{1}{2}\frac{\partial J_e}{\partial e_k}. \tag{3}$$

Il y a donc une loi de réciprocité entre les expressions des e et des i. Je ne reviendrai pas sur la démonstration des formules (2) et (3) que j'ai déjà donnée.

Analogies mécaniques et électrostatiques. — Il y a identité entre les relations (2) et (3) celles qui expriment les potentiels ou les charges en fonction de l'énergie électrostatique, lorsque l'on a affaire à un système de conducteurs isolés dans un même milieu diélectrique. L'énergie électrostatique s'exprime en fonction quadratique soit des charges, soit des potentiels, comme J en fonction soit des i, soit des e.

Ce qui apparaît moins clairement au premier abord, c'est ce point-ci: quelles sont les équations analogues aux équations de liaison des réseaux de Kirchhoff? La réponse est facile; s'il s'agit des deux armatures d'un conducteur chargées respectivement des quantités Q_1 et Q_2 on a

$$Q_1 + Q_2 = 0. \tag{4}$$

De même si trois conducteurs sont placés à l'intérieur d'une enveloppe conductrice qui ait à sa surface interne une quantité d'électricité Q_4 on aura

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0, \tag{5}$$

comme relation entre les charges Q_1, Q_2, Q_3 des trois conducteurs et celle Q_4 de leur enveloppe. Les deux problèmes sont tout à fait identiques.

On peut ajouter qu'ils se confondent également avec le problème de mécanique qui consiste à déterminer soit les impulsions, soit les quantités de mouvement au moyen de la force vive, ou bien les intensités et les flux en fonction de l'énergie magnétique.

Digitized by Google

Corollaires de réciprocité entre deux branches. — Ces corollaires des lois de Kirchhoff sont établis d'ordinaire par certaines considérations de symétrie des déterminants. Ici nous les déduirons plus simplement des propriétés des dérivées secondes. On sait qu'on peut intervertir l'ordre des dérivations.

Si, par exemple, je fais tous les e égaux à zéro, à l'exception de e_l que je fais égal à E, et si je remarque que $\frac{\partial J_e}{\partial e_k}$ est une fonction linéaire homogène des e, j'aurai

$$i_k = \frac{1}{2}\frac{\partial^2 J_e}{\partial e_k \partial e_l} E, \tag{6}$$

Inversement, si je fais tous les e égaux à zéro, à l'exception de e_l que je fais égal à E, j'aurai, en vertu de la même remarque

$$i_l = \frac{1}{2}\frac{\partial^2 J_e}{\partial e_l \partial e_k} E. \tag{7}$$

d'où

$$i_k = i_l. \tag{A}$$

Réciproquement, si je fais tous les i égaux à zéro, à l'exception de i_l que je fais égal à I, j'aurai

$$e_l = \frac{1}{2}\frac{\partial^2 J_i}{\partial i_k \partial i_l} I, \tag{8}$$

et si je fais tous les i égaux à zéro à l'exception de i_k, que je fais égal à I, j'aurai

$$e_l = \frac{1}{2}\frac{\partial^2 J_i}{\partial i_l \partial i_k} I, \tag{9}$$

d'où

$$e_k = e_l. \tag{B}$$

La relation (A) est bien connue; je ne sais si on a remarqué la loi (B).

Exemple d'application du corollaire (B). — Un exemple simple n'est pas inutile pour fixer le sens de la loi de réciprocité (B). Considérons deux points A et B reliés par trois branches (i_1, r_1) (i_2, r_2) (i_3, r_3) ; nous aurons pour la dissipation calorifique

$$J = r_1 i_1^2 + r_2 i_2^2 + r_3 i_3^2, \tag{10}$$

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0, \tag{11}$$

puis, en appelant E_1, E_2, E_3 les forces électromotrices dans les trois branches, et prenant i_1, i_2 comme variables indépendantes, je pourrai déterminer les deux quantités e_1 et e_2 par la condition qu'on ait identiquement

$$E_1 i_1 + E_2 i_2 + E_3 i_3 = e_1 i_1 + e_2 i_2. \tag{12}$$

d'où

$$e_1 = E_1 - E_3, \quad e_2 = E_2 - E_3. \tag{13}$$

On voit que les trois forces électromotrices n'interviennent en réalité que par ces deux différences.

On ne changera donc pas les équations du réseau en supprimant la force électromotrice E_3 de la branche (3) si on porte dans les branches (1) et (2) deux forces électromotrices égales à $-E_3$ en compensation.

Les équations du système sont donc

$$e_1 = (r_1 + r_3) i_1 + r_3 i_2, \tag{14}$$

$$e_2 = r_3 i_1 + (r_2 + r_3) i_2. \tag{15}$$

Appliquons les équations (8) et (9). Faisons $l = 1$, $k = 2$. Pour $i_1 = 0$ $i_2 = I$ on a $e_1 = r_2 I$. Pour $i_2 = 0$ $i_1 = I$ on a de même $e_2 = r_3 I$.

On voit que, pour faire passer dans la branche (1) un courant $i_1 = I$, il est nécessaire d'introduire dans la branche (2) une force électromotrice égale à $r_3 I$, la force électromotrice e_1 de la branche (1) étant alors à régler à une valeur déterminée pour réduire à zéro le courant i_2 de la branche (2). C'est, inversement, cette même force électromotrice $r_3 I$ qu'il faudrait introduire dans la branche (1) pour y faire circuler un courant d'une intensité I, à la condition qu'on règle simultanément la valeur de la force électromotrice e_2 de façon convenable, c'est-à-dire de manière à réduire à zéro l'intensité dans la branche (1).

Quand il s'agit de la loi (A), celle qu'on énonce habituellement dans les cours, on a une force électromotrice dans une branche dite de transmission et une intensité de courant dans une autre branche, dite de réception; mais il y a d'autres intensités dont on ne parle pas; ce sont celles qui circulent dans les branches différentes de la branche réceptrice; leurs intensités se règlent automatiquement à la valeur voulue pour annuler la force électromotrice totale, dans les divers circuits fermés indépendants du réseau, à l'exception de celui qui comprend la branche de transmission, la seule où il y ait une source.

Quand on applique la loi (B), c'est la distribution des courants que l'on se donne, il s'ensuit que les diverses forces électromotrices ne sont pas arbitraires; après qu'on s'est donné l'intensité qui doit passer dans une branche appartenant à l'un des circuits fermés indépendants dans lesquels on peut décomposer le réseau, il faut que les forces électromotrices des autres branches soient réglées de manière à maintenir à zéro les intensités qui circuleraient dans les autres circuits constitutifs.

Dans le cas que j'ai choisi pour exemple, j'ai pris i_1 et i_2 pour variables indépendantes; il en résulte que dans les deux hypothèses envisagées, le courant i_3 dans la troisième branche a pour valeur $-I$, la branche r_3 servant alternativement avec r_1 ou r_2 à fermer le circuit. La chute de potentiel ohmique dans cette branche est donc $r_3 I$, que le courant vienne de la branche r_1 ou de la branche r_2 et, pour qu'aucun courant ne passe dans la branche r_2 ou dans la branche r_1 respectivement, il faudra y insérer la même force électromotrice $r_3 I$ en opposition.

C'est le résultat que donne le calcul.

Extension au cas des forces électromotrices variables. — Il convient d'ajouter quelques précisions au sujet de la portée des corollaires (A) et (B), qui peuvent être considérés comme établis pour le cas

Digitized by Google

des forces électromotrices constantes et des courants permanents.

On sait que les lois de Kirchhoff, dont les équations (2) et (3) sont l'expression, subsistent dans le cas où les forces électromotrices sont périodiques de la forme $Ee^{\omega t\sqrt{-1}}$, la pulsation ω étant la même pour toutes; mais alors il faut tenir compte des forces électromotrices d'induction et des différences de potentiel des condensateurs, ce qui se fait en remplaçant les constantes réelles par des quantités imaginaires; et la résistance ohmique d'une branche est alors remplacée par la résistance imaginaire

$$r_k + (l_k + \Sigma m_{kl})\,\omega\sqrt{-1} + \left(\frac{1}{C_k} + \Sigma\frac{1}{D_{kl}}\right)\frac{1}{\omega\sqrt{-1}}.$$

Les formes des équations (2) et (3) subsistant avec ces notations imaginaires, les lois de réciprocité subsistent également (Vaschy).

Il n'en serait pas de même si les équations cessaient d'être à coefficients constants : c'est ce qui aurait lieu si l'on avait à tenir compte des variations de la perméabilité magnétique, de l'hystérésis du fer ou des diélectriques, de l'électrolyse, de la variation de température produite par l'effet de Joule, ou encore si le système n'était pas complet, parce qu'il serait associé, par exemple, à des circuits d'amplificateurs, qui relèvent d'autres lois.

Supposons qu'un effet observé dans un appareil de réception puisse être attribué à priori soit à la conduction électrique, soit à des phénomènes d'induction électromagnétique. Pourra-t-on espérer avoir dans les corollaires A et B le moyen de faire un experimentum crucis avec succès? Pourra-t-on dire : s'il n'y a pas réciprocité, c'est que le phénomène est dû à l'induction et non à la conduction? Ce n'est pas notre opinion. La loi de réciprocité s'applique dans les deux cas. Si l'expérience la dément, c'est que l'une des causes énumérées ci-dessus intervient. Leur liste n'est d'ailleurs pas limitative. Mais il faut que le caractère des équations soit détruit; les expressions des énergies doivent cesser d'être des fonctions quadratiques à coefficients constants.

Autre remarque : les solutions données par les équations (2) et (3) sont aussi les solutions symboliques pour le régime variable qui suit l'introduction de forces électromotrices constantes, dans le système primitivement au repos, à condition de considérer dans les coefficients $\omega\sqrt{-1}$ comme représentant le symbole $\frac{d}{dt}$ ou p et $\frac{1}{\omega\sqrt{-1}}$ comme représentant l'opérateur inverse p^{-1}. Il en résulte que, quand on part du repos, les lois de réciprocité doivent tenir pour le régime variable, dans le cas où l'on introduit brusquement des forces électromotrices constantes. Cela me paraît résulter d'une façon évidente des règles du calcul symbolique de Heaviside.

Une troisième remarque, c'est qu'on peut remplacer les variables indépendantes i par un nombre égal de fonctions linéaires, indépendantes, d'autres variables i', à la condition de remplacer les e par d'autres variables e' liées aux e par la substitution inverse, telle que l'on ait toujours identiquement

$$\Sigma ei = \Sigma e'i'. \qquad (16)$$

Détermination directe du nombre des degrés de liberté du système. — Il est tout à fait évident, si l'on applique, comme je l'ai fait, le principe des vitesses virtuelles, que si l'on a l branches reliant n sommets, le nombre des variables indépendantes est égal à $l - n + 1$, puisque les $n - 1$ équations de liaison $\Sigma i = 0$ relatives aux sommets permettent d'exprimer $n - 1$ intensités, prises parmi les l intensités, en fonction des $l - n + 1$ autres qui restent indépendantes.

Mais il est possible de remplacer cette méthode analytique par un examen direct, de la façon suivante.

Donnons-nous n sommets A_1, A_2... A_n, nous allons les relier par l diagonales. Combien faut-il en tracer au minimum pour faire un ensemble d'un seul tenant?

Si $n = 2$, il suffit d'une diagonale $A_1 A_2$. Si pour faire avec p sommets un ensemble d'un seul tenant il faut $p - 1$ diagonales, envisageons un sommet de plus A_{p+1}, il faudra le relier à l'un quelconque des $p - 1$ autres sommets. On aura alors un ensemble d'un seul tenant. Si l'on ajoute une diagonale de plus, on fait un circuit fermé, il y a surabondance. C'est donc bien une diagonale de plus qu'il faut tracer pour chaque sommet nouveau et il faudra $n - 1$ diagonales convenables pour faire des points considérés un ensemble relié.

Si maintenant le nombre des diagonales l devient égal à n, il y a un circuit fermé. Je dis que chaque fois que j'ajouterai une diagonale, j'ajouterai un circuit fermé et un seul. En effet, j'en ajoute un, car j'autorise un passage impossible à réduire à une combinaison antérieure, puisqu'il comprend une branche nouvelle; mais je n'en ajoute pas deux; car soient C_1 et C_2 deux parcours fermés empruntant la nouvelle branche, une fois chacun par exemple, alors je peux les remplacer par les deux parcours $C_1 + C_2$ et $C_1 - C_2$, le signe — indiquant un changement de sens dans la direction de circulation. Mais alors dans l'un de ces deux parcours la branche nouvelle étant parcourue dans deux sens différents peut être supprimée et ledit parcours se réduit donc à un des parcours précédents.

Chaque diagonale nouvelle n'introduisant qu'un seul nouveau circuit fermé indépendant, le nombre des circuits indépendants est $l - n + 1$ au total. Je n'ai pas eu l'occasion de pouvoir vérifier si cette démonstration est semblable à celle que dans sa thèse, Regnault, ingénieur des Télégraphes, attribue à de la Rive, sans la reproduire.

Cas où l'on donne les intensités injectées dans le réseau. Régime permanent. — Supposons maintenant que les forces électromotrices agissantes soient extérieures au réseau. Je n'examine que le cas de régime permanent dans un réseau dont les diverses branches sont de simples résistances ohmiques. Soient I_1,

Digitized by Google

$I_2 \dots I_n$ les intensités injectées par les sommets; le réseau étant d'un seul tenant, on aura, d'ailleurs, nécessairement

$$(17) \qquad I_1 + I_2 + \dots + I_n = 0.$$

Ce qui fait que ce problème est nouveau, c'est que les données sont ces intensités I et non les forces électromotrices.

Soit l le nombre des diagonales, $e_1, e_2 \dots e_l$ les différences de potentiel à leurs extrémités, $r_1, r_2 \dots r_l$ leurs résistances.

L'intensité du courant circulant dans une branche sera $\frac{e}{r}$ et en groupant toutes les branches qui partent d'un même sommet, où l'intensité injectée est I, on aura, pour exprimer qu'il n'y a pas d'accumulation d'électricité libre au sommet

$$(18) \qquad \Sigma \frac{e}{r} = I.$$

D'autre part, le long d'un parcours fermé quelconque on aura

$$(19) \qquad \Sigma e = 0,$$

puisque la somme des différences de potentiel est nulle, quand on est revenu au point de départ.

J'appelle $V_1 V_2 \dots V_n$ les potentiels des divers sommets. En multipliant chaque équation relative à un sommet par la variation δV correspondante et faisant la somme pour tous les sommets, j'obtiens

$$(20) \qquad \sum_{p=1}^{p=n} \delta V_p \left(\sum \frac{V_p - V_q}{r_{pq}} - I_p \right) = 0,$$

r_{pq}, résistance d'une branche reliant les sommets (p) et (q).

Rapprochons les deux termes en $V_p - V_q$ qui proviennent l'un du sommet (p), l'autre du sommet (q) et qui se rapportent à la même diagonale r_{pq}, nous aurons

$$(21) \qquad \Sigma \left(\delta V_p \frac{V_p - V_q}{r_{pq}} + \delta V_q \frac{V_q - V_p}{r_{pq}} \right) - \Sigma (\delta V_p - \delta V_q) \frac{V_p - V_q}{r_{pq}} = \Sigma \delta v \frac{v}{r} = \frac{1}{2} \delta \Sigma \frac{v^2}{r} = \frac{1}{2} \delta J.$$

J étant la puissance calorifique, que nous avons déjà eu l'occasion de considérer.

Remplaçons, d'autre part, I_n par sa valeur en fonction des autres intensités et il vient, d'après (17)

$$(22) \qquad \Sigma_p I_p \delta V_p = \sum_{p=1}^{p=n-1} I_p \delta V_p - \delta V_n \sum_1^n I_p = \Sigma I_p \delta (V_p - V_n).$$

Dans cette dernière expression, $V_p - V_n$ est exprimable au moyen des différences de potentiel $e_1, e_2 \dots e_l$ (c'est-à-dire de celles qu'on rencontre en allant du sommet (p) au sommet (n) par un chemin qu'on peut d'ailleurs choisir arbitrairement).

On pourra donc écrire l'équation (20) sous la forme d'équation aux variations

$$(23) \qquad \frac{1}{2} \delta J = \Sigma I \delta (V - V_n).$$

Opérons maintenant la transformation qui ne laissera en évidence que les variables indépendantes.

Il y a $l - n + 1$ équations (19), permettant d'exprimer $l - n + 1$ différences de potentiel e en fonction des $l - (l - n + 1) = n - 1$ autres, qui seront les variables indépendantes; appelons-les $e_1, e_2 \dots e_{n-1}$. Je pourrai déterminer $n - 1$ quantités $i_1, i_2 \dots i_{n-1}$ en fonction des quantités I données, en écrivant que l'équation (24) ci-après

$$(24) \qquad \Sigma I_p \delta (V_p - V_n) = i_1 \delta e_1 + i_2 \delta e_2 + \dots + i_{n-1} \delta e_{n-1},$$

est une identité. Je substitue alors les quantités i aux quantités I, qui en sont des fonctions linéaires connues.

En annulant les coefficients des variations arbitraires, j'aurai alors, d'après les équations (23) et (24) :

$$(25) \qquad i = \frac{1}{2} \frac{\partial J}{\partial e},$$

et j'aurai, de même, en exprimant J au moyen des i à la place des e,

$$(26) \qquad e = \frac{1}{2} \frac{\partial J}{\partial i}.$$

D'où de nouvelles relations de réciprocité. Les équations (25) et (26) me paraissent nouvelles.

Dualisme. — Dans le cas d'un réseau de Kirchhoff ordinaire, ayant n sommets reliés par l branches, on a les équations

$$(27) \qquad \Sigma I = 0,$$

$$(28) \qquad \Sigma (E - RI) = 0.$$

Les équations (27) sont relatives aux sommets, les équations (28) aux parcours fermés. Il y a $n - 1$ équations distinctes (27) et $l - n + 1$ équations distinctes (28).

Inversement, supposons qu'un réseau comportant n' sommets reliés par l' branches ne contienne aucune force électromotrice et qu'on injecte par les sommets les intensités $i_1, i_2 \dots i_n$, dont la somme doit être égale à zéro. Si j'appelle v la différence de potentiel entre les deux extrémités d'une branche de résistance r, j'aurai

$$(29) \qquad \Sigma \left(\frac{v}{r} - i \right) = 0,$$

$$(30) \qquad \Sigma v = 0,$$

La première série d'équations (29) s'applique à $n' - 1$

Digitized by Google

sommets, la seconde (30) aux circuits fermés indépendants, au nombre de $l' - n' + 1$.

Si l'on fait la substitution

$$\begin{pmatrix} E & I & R \\ i & v & \frac{1}{r} \end{pmatrix},$$

le système (27) (28) se transforme dans le système (29) (30) et réciproquement, à condition que le nombre des variables indépendantes soit le même. Cette dernière remarque est essentielle.

On devra donc avoir

$$n - 1 = l' - n' + 1,$$
$$l - n + 1 = n' - 1,$$

ou bien

$$n + n' = l + 2 = l' + 2. \qquad (31)$$

Il doit donc y avoir le même nombre de branches dans les deux systèmes et les nombres des sommets doivent être complémentaires l'un de l'autre par rapport au nombre des branches augmenté de deux unités.

Les deux systèmes ci-après

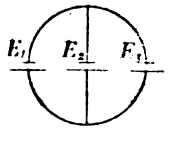


Fig. 1.

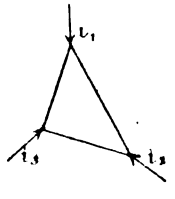


Fig. 2.

sont complémentaires l'un de l'autre; il en est de même des deux systèmes suivants qui forment l'un et l'autre pont de Wheatstone.

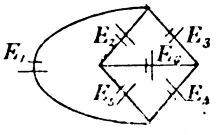


Fig. 3.

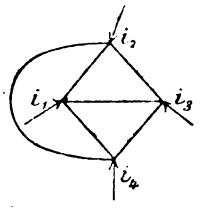


Fig. 4.

Il y a dans chaque cas 6 branches et 4 sommets;

$$n + n' = l + 2 = l' + 2$$
$$4 + 4 = 6 + 2;$$

il y a donc réciprocité.

Bien qu'il y ait, dans la première figure six forces électromotrices à la disposition, comme il n'y a que trois circuits fermés indépendants, les courants ne dépendent pas directement de ces six forces électromotrices, mais seulement de trois combinaisons linéaires d'entre elles.

Mais cette correspondance entre deux systèmes différents est plutôt une loi de dualisme que de réciprocité. Les conditions nécessaires (31) me paraissent nouvelles.

J.-B. Pomey,
Ingénieur en chef des Télégraphes.

Revues, analyses et informations

Bobine d'induction, potentiel secondaire à la fermeture (1).

Il est nécessaire de connaître la grandeur de ce potentiel afin de pouvoir efficacement le réduire dans les nombreux cas où il gêne, sans toutefois modifier le potentiel à la rupture dont on se sert.

Le point de départ se trouve toujours dans les équations fondamentales

$$L_1 \frac{di_1}{dt} + L_{12} \frac{di_2}{dt} + R_1 i_1 = E, \qquad (1)$$

$$L_2 \frac{di_2}{dt} + L_{21} \frac{di_1}{dt} + R_2 i_2 + V_2 = 0, \qquad (2)$$

$$i_2 = C_2 \frac{dV_2}{dt}, \qquad (3)$$

i_1 et i_2 étant les intensités primaire et secondaire, L_1 et L_2 les self-inductions des deux circuits, L_{12} et L_{21} l'induction mutuelle du primaire sur le secondaire et inversement, C_2 la capacité du secondaire (aux bornes ou uniformément répartie) et V_2 le potentiel aux bornes du secondaire. La capacité primaire ne figure pas ici, car au moment de la fermeture elle est court-circuitée et, si l'intervalle entre une rupture et la fermeture suivante est assez grand, le condensateur primaire est sans action au moment considéré ici.

En écrivant

$$x = i_1 - \frac{E}{R}, \qquad (4)$$

et en tenant compte de (3), on arrive à un système de deux équations simultanées dont la solution générale est

$$x = Ae^{zt},$$
$$V_2 = Be^{zt},$$

z étant une des racines de l'équation

$$(L_1 L_2 - L_{12} L_{21}) z^3 + (L_1 R_2 + L_2 R_1) z^2 + \left(\frac{L_1}{C_2} + R_1 R_2\right) z + \frac{R_1}{C_2} = 0, \qquad (5)$$

deux des racines sont imaginaires et la troisième réelle.

(1) E. Taylor Jones. *Philosophical Magazine*, avril 1917, t. XXXIII, p. 322-334, 4800 mots, 1 fig.

Digitized by Google

Dans ces conditions la solution complète devient :

$$\left.\begin{aligned} x &= A_1 e^{z_1 t} + A_2 e^{z_2 t} + A_3 e^{z_3 t}, \\ V_2 &= B_1 e^{z_1 t} + B_2 e^{z_2 t} + B_3 e^{z_3 t}. \end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

En tenant compte des conditions initiales

$$i_1 = 0, \quad V_1 = 0, \quad i_2 = 0, \quad \frac{dV_2}{dt} = 0,$$

on détermine les coefficients A et B et, finalement, on arrive à l'expression de la tension secondaire V_2

$$V_2 = \frac{EL_{21}}{L_1} [e^{-Kt} \cos (2\pi n t - \theta) - e^{-\delta t}]. \qquad (7)$$

La tension secondaire est ainsi formée par la superposition d'une oscillation amortie et d'une tension décroissant exponentiellement. La valeur maximum de V_2 est obtenue au temps t_1 voisin de $\frac{1}{2n}$ et, si K et δ sont très petits, ce maximum peut atteindre

$$V_2 \leq \frac{2EL_{21}}{L_1}.$$

La tension secondaire « à la fermeture » est donc proportionnelle à la force électromotrice de la source de courant, mais elle est très peu affectée par la résistance des circuits qui entre seulement dans les facteurs K et δ. Cet effet des résistances est mis en évidence par l'expérience suivante : une bobine de 45 cm d'étincelles alimentée sous 20 v, avec 10 ohms dans le primaire, donne une étincelle « de fermeture » de 0,7 mm, entre deux boules de 2 cm ; E étant porté à 98 v, avec la même résistance, l'étincelle monte a 4,5 mm et tombe seulement à 3,7 mm quand la résistance du primaire est portée à 50 ohms, toujours sous 98 v.

Il y a donc entre la tension de rupture et de fermeture cette différence importante que la première est en raison inverse de la résistance primaire, tandis que la seconde y est presque insensible, et on est conduit à cette conclusion pratique que, pour réduire l'effet nuisible de la tension de fermeture, il faut employer la force électromotrice qui est juste nécessaire de façon à ne pas mettre de résistance additionnelle dans le circuit primaire.

L'expression (7) montre que la tension à la fermeture est proportionnelle au coefficient d'induction mutuelle L_{21} ; on peut diminuer ce facteur sans faire varier L_1 en sortant partiellement le primaire de la bobine, ce qui diminue en même temps la self-induction secondaire L_2 et, par suite, la période d'oscillation $\frac{1}{n}$; il en résulte, le temps t_1 étant réduit, que le maximum de V_2 est diminué. On peut croire que cet éloignement du primaire réduit aussi la tension à la rupture ; ce n'est pas forcément le cas et il arrive souvent qu'on a un couplage primaire-secondaire plus favorable. La bobine de 45 cm déjà citée donne l'effet maximum, sur un tube a rayons X, lorsque le primaire est déplacé de 30 cm par rapport à la position symétrique et l'étincelle de fermeture est réduite à 1,5 mm, au lieu de 4,4 pour la position symétrique.

Comme V_2 est en raison inverse de la self-induction primaire L_1, on peut atténuer son effet en ajoutant une self-induction dans le circuit primaire : pour la bobine citée ci-dessus, les 4 couches du primaire étant en parallèle, la tension secondaire de fermeture donne une étincelle de 13,1 mm qui tombe à 1 mm seulement quand on ajoute une inductance sans fer de 0,07 henry. Cette addition diminuant le couplage primaire-secondaire agit quelquefois avantageusement en augmentant la tension de rupture, le courant primaire restant constant.

Dans les bobines qui ont des primaires formés de plusieurs couches de fil égales, on réduit finalement la tension de fermeture en mettant ces couches en parallèle par suite de l'augmentation des facteurs d'amortissement K et δ qui en résulte. Des combinaisons variées de couches primaires en série et en parallèle peuvent être étudiées avec la variation de la résistance primaire pour obtenir la tension de fermeture minimum sans diminuer la tension de rupture.

Un bon exemple de ces effets est donné par les trois oscillogrammes de la figure 1. Dans le premier cas, deux couches en série et deux en parallèle, la tension de fermeture est

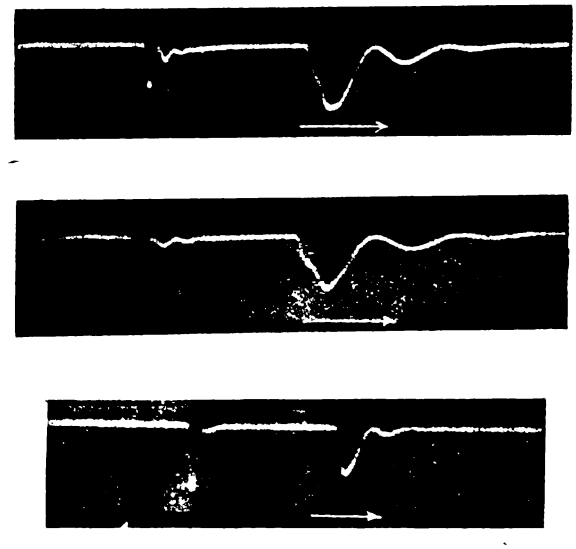


Fig. 1. — Oscillogrammes montrant l'influence de l'inductance du primaire sur la force électromotrice de fermeture d'une bobine.

supérieure à la tension de rupture. Dans le second cas, les couches primaires sont en série, la tension de fermeture baisse et celle de rupture augmente ; enfin, si une inductance additionnelle est placée dans le primaire, la tension de fermeture est beaucoup atténuée. Dans ces trois cas, la bobine était alimentée sous 98 v avec une résistance primaire de 46,7 ohms et le condensateur primaire avait une valeur intentionnellement trop élevée afin de rendre la tension de rupture comparable à celle de fermeture. H. A.

Influence d'un champ magnétique transversal sur la décharge à travers un tube de Geissler (1).

Au cours de recherches récentes sur les « rayons magnétiques » de Righi, l'auteur a été amené à étudier l'action d'un champ magnétique transversal sur la décharge d'un tube Geissler. Il a constaté que, sous l'action du champ, le

(1) James-E. Ives. *Physical Review*, octobre 1918, t. XII, p. 293-313, 7 500 mots, 13 fig.

Digitized by Google

courant augmente dans le tube et que la différence de potentiel aux bornes diminue. Quand on continue à augmenter le champ, la décharge devient périodique pour une certaine valeur du champ et finalement elle est complètement arrêtée.

Le champ magnétique modifie en outre grandement l'aspect de la colonne positive. A mesure que l'intensité du champ va en croissant, les stries deviennent plus nombreuses et descendent vers la lueur négative ; en même temps la colonne positive se rétrécit et est pressée sur l'un des côtés du tube. Quand la décharge devient périodique, les stries se soudent et la colonne positive apparaît à l'œil comme continue. En même temps le tube émet une note élevée.

On peut se poser au sujet de ces phénomènes un certain nombre de questions intéressantes. Pourquoi une certaine intensité du champ rend-elle la décharge périodique ? Pourquoi une intensité plus forte l'arrête-t-elle tout à fait ? Quel serait l'effet du champ appliqué à la cathode seule ? Appliqué à l'anode seule ?

Quand le tube Geissler est cylindrique, le champ magnétique peut être appliqué suivant deux directions principales, transversalement ou parallèlement à sa longueur. Dans les recherches que nous résumons, le champ était perpendiculaire à la longueur du tube.

Dispositif expérimental. — On a représenté schématiquement sur la figure 1 la forme du tube adopté, les dimen-

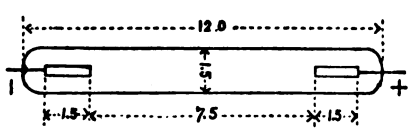


Fig. 1.

sions étant indiquées en centimètres. L'anode et la cathode sont identiques et constituées par un fil d'aluminium de 0,328 cm de diamètre. Ce tube est appelé tube C. L'auteur a utilisé deux autres tubes exactement identiques, sauf que dans l'un (tube A) les électrodes étaient constituées par un fil de platine de 0,046 cm de diamètre et dans l'autre (tube B), l'anode était en fil de platine et la cathode en fil d'aluminium du diamètre indiqué. L'écartement des électrodes est le même dans les trois tubes.

Les résultats obtenus avec les tubes B et C ont le même caractère. A cause de la petitesse de la surface cathodique dans le tube A, on n'a pu obtenir des valeurs suffisamment intenses du courant. L'auteur a finalement adopté le tube C dans lequel les électrodes sont symétriques et l'aire de la cathode assez grande. En prenant des électrodes symétriques, on est assuré qu'aucun des résultats obtenus n'est dû à leur dissymétrie.

Le champ magnétique utilisé est celui réalisé entre les pôles de l'électro-aimant d'un galvanomètre Einthoven. Il peut varier de 0 à 3 000 gauss ; pratiquement, il est resté inférieur à 400 gauss. L'exploration du champ a montré que, dans les parties occupées par le tube, l'écart à la valeur moyenne est inférieur à 5 pour 100. Le courant dans le tube est mesuré au moyen d'un galvanomètre ou d'un milliampèremètre, et la différence de potentiel entre les électrodes, avec un électromètre à quadrants.

Le tube a été utilisé dans le circuit représenté sur la figure 2, où T représente le tube, B une batterie d'accumulateurs de 500 à 2 000 éléments et R une résistance non inductive de graphite, d'eau ou d'une solution d'iodure de cadmium pouvant varier entre quelques milliers d'ohms et 1 500 000 ohms. La pression est mesurée avec une jauge Mac Leod.

Considérations théoriques préliminaires. — Dans les recherches antérieures, on n'a accordé qu'une attention très faible à l'influence sur la décharge, de la résistance extérieure du circuit. Il est évident, cependant, que la

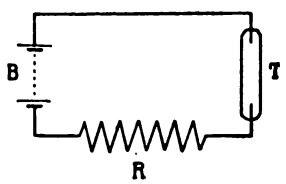


Fig. 2.

valeur de cette résistance doit jouer un rôle important sur les propriétés de la décharge.

Kaufmann (1) a établi que la décharge ne sera pas stable si l'on a

$$R < -\frac{\partial e}{\partial i},$$

e désignant le potentiel aux bornes du tube et i le courant qui le traverse, c'est-à-dire si la décharge dans le tube est représentée par une *caractéristique* descendante, le coefficient angulaire de la tangente étant supérieur à R.

En dehors de cette condition de stabilité, la valeur de la résistance extérieure affectera la forme des courbes qui produisent la relation entre le courant et l'intensité du champ magnétique, entre le potentiel et le champ et, sous certaines conditions, entre le courant et le potentiel,

Dans le circuit de la figure 2, désignons par E la force électromotrice de la batterie B. Si e et V représentent les chutes de potentiel, respectivement dans le tube T et la résistance R, on a

$$V + e = E. \tag{1}$$

Si l'on maintient E et R constants et qu'on produise une faible variation Δe de e en faisant varier le champ appliqué à T, on aura

$$\Delta V = -\Delta e. \tag{2}$$

Mais, d'après la loi d'Ohm, on a

$$V = iR,$$

et (2) devient

$$R\Delta i = -\Delta e,$$

ou

$$R = -\frac{\Delta e}{\Delta i},$$

ou, à la limite,

$$R = -\frac{de}{di}. \tag{3}$$

(1) *Ann. der Physik*, 1900, t. II, p. 158-179.

Digitized by Google

Donc si, partant d'une valeur donnée i_0 du courant dans le tube et d'une différence de potentiel aux bornes e_0, nous produisons une variation du courant par une action extérieure au tube, la force électromotrice appliquée et la résistance R étant maintenues constantes, on obtient une relation linéaire entre e et i qui sera représentée par une ligne droite dont le coefficient angulaire est égal en valeur absolue à la résistance extérieure R.

Considérons une telle ligne (fig. 3). Soient i_0 et e_0 les valeurs du courant et de la différence de potentiel avant l'application du champ. Quand la ligne s'arrête, en l', la décharge devient périodique. Si l'on prolonge la ligne ll'',

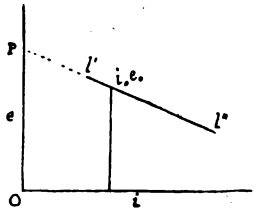


Fig. 3.

elle coupera en P l'axe des ordonnées. OP sera alors égal à E et nous aurons la relation

$$e = E - iR.$$

Cette équation de la droite ll' est équivalente à (1).

En intégrant l'équation (3), on obtient

$$(4) \qquad i - i_0 = -\frac{1}{R}[e - e_0].$$

Mais e est fonction de l'intensité H du champ magnétique et aussi de R. On peut donc écrire $e = f(H_1R)$ et l'équation (4) devient

$$(5) \qquad i - i_0 = -\frac{1}{R}[f(H_1R) - e_0]$$

Si la caractéristique du tube est ascendante lorsqu'aucun champ magnétique n'est appliqué, ce qui est réalisé sauf pour les très faibles valeurs du courant, $f(H_1R)$ diminuera quand R augmente, puisqu'un accroissement de R, pour E constant, produira une diminution de e. Donc $\frac{f(H_1R)}{R}$ diminuera, quand R augmente, plus rapidement que $\frac{1}{R}$.

Nous voyons ainsi que la variation $i - i_0$ du courant dépendra de la variation $e - e_0$ du potentiel de la manière indiquée dans (5). Le signe de la variation du courant devra être contraire à celui de la variation du potentiel, sa valeur dépendant de la résistance extérieure R et diminuant quand R augmente.

Bien que la variation de courant produite par l'action du champ magnétique dépende de la valeur de R, la caractéristique courant-tension pour un tube soumis à un champ magnétique d'intensité constante n'est pas affectée par une variation de la résistance extérieure, puisqu'une variation de i, due à une variation de R, sera contrebalancée par une variation de e, en sorte que le point (e, i), après la variation de R, demeurera sur la même caractéristique. Cette prévision a été vérifiée par l'expérience.

Résultats expérimentaux. — Contentons-nous de résumer ici les résultats expérimentaux obtenus par l'auteur, en renvoyant au mémoire original pour le détail des mesures et les courbes.

1. Dans le tube qui a été décrit, rempli d'air sous une pression de 0,13 mm et parcouru par un courant de 1,8 milliampère, le champ magnétique a pour effet d'augmenter le courant dans le tube, quand il agit sur la région cathodique seule; il le diminue quand il agit sur la région anodique seule; il l'augmente quand il agit sur le tube tout entier.

2. La courbe représentant l'intensité du courant en fonction du champ agissant sur la région cathodique seule est une courbe exponentielle analogue à celle obtenue par Townsend en augmentant la longueur du parcours de la décharge.

3. La courbe représentant l'intensité du courant en fonction du champ agissant sur la région anodique seule est une droite à coefficient angulaire négatif.

4. Les ordonnées de la courbe qui représente l'intensité du courant en fonction du champ agissant sur le tube tout entier sont, en première approximation, la somme des ordonnées relatives aux deux courbes envisagées précédemment.

5. Quand on fait agir sur le tube un champ magnétique, les constantes extérieures du circuit demeurant invariables, la tension aux bornes et le courant varient en sens inverse suivant la relation

$$e = E - iR,$$

e désignant la tension aux bornes du tube, i le courant qui le traverse, E la force électromotrice appliquée et R la résistance extérieure du circuit. La courbe représentant la tension en fonction du courant est une droite dont le coefficient angulaire est égal à R et qui passe par le point de l'axe des tensions d'ordonnée E.

6. Les amplitudes des courbes représentant l'intensité du courant en fonction du champ ou la tension en fonction du champ dépendent de la valeur de la résistance R du circuit; l'amplitude de la courbe des intensités en fonction du champ diminue quand R augmente, celle de la courbe des tensions augmente.

7. L'auteur a déterminé les caractéristiques représentant les tensions en fonction des intensités pour différentes valeurs du champ magnétique. La caractéristique relative à une certaine valeur du champ coupe celle relative à un champ nul en un point qui correspond à une valeur critique du courant, variable avec le champ envisagé. Les courants inférieurs à cette valeur critique augmentent sous l'influence du champ; les courants plus élevés diminuent.

A. B.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

Le retour du courant de traction dans un réseau à courant alternatif monophasé

Les réseaux de traction à courant monophasé produisent par induction des perturbations très importantes sur les lignes à courant faible qui se trouvent le long de la ligne de traction. L'auteur de l'article que nous publions ci-dessous, ingénieur de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, montre tout d'abord que la force électromotrice induite dans les lignes à courant faible par le courant de traction est d'autant plus faible que le retour du courant de traction se fait plus par les rails. Il décrit ensuite les expériences faites par la Compagnie des Chemins de fer du Midi, tant au laboratoire qu'en pleine voie, pour déterminer les résistances en courant alternatif, des éclissages, aiguillages, etc., et la proportion du courant de traction revenant à l'usine par les rails. Il discute et commente les résultats obtenus dans ces expériences et en tire des conclusions fort intéressantes et montre l'avantage qu'on retire de l'emploi des transformateurs-suceurs.

Généralités.

La Compagnie du Midi a procédé ces dernières années à l'électrification d'un certain nombre de ses lignes d'accès dans les vallées pyrénéennes, pour lesquelles l'utilisation de la houille blanche était évidemment tout indiquée. Elle a adopté, pour cette électrification, le courant alternatif monophasé à la fréquence de 16 périodes 2/3 par seconde capté par les archets des électromoteurs, à la tension de 12 000 v, sur une ligne caténaire simple constituée par un fil de contact en cuivre de 100 mm², suspendu à un câble porteur en acier.

Le courant, fourni par les sous-stations d'alimentation, circule dans les caténaires, les enroulements primaires des transformateurs des locomotives et automotrices, et revient aux sous-stations par les rails de roulement et la terre.

En adoptant une ligne de contact unique sur ses voies électrifiées, la Compagnie du Midi utilise obligatoirement la terre comme partie du conducteur de retour du courant de traction ; or, nous savons que cette déperdition du courant de retour dans la terre est une cause aggravante des perturbations apportées dans les transmissions télégraphiques et téléphoniques qui se font par les lignes établies sur ces voies ou dans leur voisinage immédiat.

La tension électromagnétique induite dans un fil télégraphique voisin, par un courant alternatif monophasé d'intensité I et de fréquence $f = \frac{\omega}{2\pi}$ circulant dans la ligne aérienne de contact et, revenant à la sous-station par la voie de roulement et le sol, peut s'exprimer par la formule (1)

$$e = 4{,}6 \times 10^{-4} \left[K \times \log \frac{r_2}{r_1} + (1 - K) \times \log \frac{r_2 + d}{r_1} \right] \times L.\omega.I, \qquad (1)$$

dans laquelle :

K désigne la fraction du courant de retour revenant par les rails de la voie ;

r_1 la distance du fil télégraphique à la ligne de contact ;

r_2 la distance moyenne de ce même fil aux rails de roulement ;

d la distance au-dessous des rails à laquelle se trouve le conducteur fictif parcouru par la fraction $(1-K)$ du courant de retour ;

L la distance en kilomètres sur laquelle règne le parallélisme de la ligne de contact et du fil télégraphique.

Si $K = 1$, cette formule se réduit à la suivante :

$$e = 4{,}6 \times 10^{-4} \times \log \frac{r_2}{r_1} \times L\ \omega.I. \qquad (2)$$

C'est le cas lorsque le courant de retour peut être maintenu entièrement dans les rails, ou plus généralement dans un conducteur de retour situé à la distance r_2 du fil télégraphique soumis à l'induction.

Il est visible que la formule (2) donne pour e une valeur plus faible que la formule (1) si tous les facteurs autres que K intervenant dans ces formules conservent la même valeur.

La formule (1) donne elle-même, toutes choses restant égales par ailleurs, des valeurs d'autant plus faibles pour e que K est plus voisin de 1.

Lignes de retour isolées du sol. — Pour obtenir de faibles inductions, il est donc préférable de n'avoir à appliquer que la formule (2) en obligeant le courant de retour à circuler dans un conducteur isolé du sol et placé à la distance r_2 du fil télégraphique. On peut réaliser cette obligation par l'établissement d'une ligne de contact recevant le courant de retour au sortir des électromoteurs au fur et à mesure de leur avancement.

Cette ligne, de retour, isolée, peut être : soit une deuxième ligne de contact aérienne, placée au-dessus de la voie dans le voisinage de la ligne d'alimentation à 12 000 v, soit un troisième rail sur lequel glissent des frotteurs portés par les électromoteurs.

La première solution n'a pas été adoptée, car elle eût

Digitized by Google

entraîné un équipement des voies électrifiées aussi compliqué qu'avec l'emploi du courant triphasé.

Une ligne de contact pour le retour du courant constituée par un troisième rail placé légèrement au-dessus et en dehors de la voie de roulement, eût présenté, en plus de son prix de revient élevé, plusieurs autres inconvénients qui ont fait rejeter ce dispositif.

Malgré la haute tension adoptée pour l'alimentation en courant alternatif monophasé (environ 10 fois la tension la plus élevée parmi celles généralement adoptées jusqu'ici avec le troisième rail à courant continu), une installation simple et légère de ce troisième rail n'était pas possible.

Tout d'abord, les grandes vitesses que l'on se proposait d'atteindre sur les sections à électrifier auraient exigé une construction robuste du troisième rail, pour supporter les efforts mécaniques, au passage des frotteurs. D'autre part, la résistance opposée par les conducteurs en fer et en acier au passage des courants alternatifs eût exigé des profils spéciaux, et probablement même conduit à doubler le troisième rail en fer ou en acier, par un conducteur en cuivre ou en aluminium, accolé contre lui, ou relié à lui, tous les deux ou trois mètres, pour assurer une bonne conductibilité de la ligne de retour.

Feeder de retour. — Le rejet des deux conducteurs de retour du courant, examinés ci-dessus, a conduit à envisager l'installation d'un feeder isolé placé dans le voisinage de la caténaire et puisant ou « suçant » le courant de retour dans les rails de roulement par des *liaisons* utilisées pendant que les trains électriques parcourent les longueurs de voie correspondant à la zone de fonctionnement de ces « liaisons ». Selon le système de « liaisons » adopté, il est possible d'enlever une plus ou moins grande partie du courant de retour des rails de roulement et, par suite, de réduire dans une très large mesure la fraction du courant de retour circulant dans le sol, en même temps que de limiter la longueur de voie le long de laquelle cette fraction restante de courant de retour circule daus le sol.

La liaison, de distance en distance, des rails de roulement au feeder de retour, soit qu'elle s'opère directement (connexions), soit qu'elle s'opère à l'aide de dispositifs spéciaux (transformateurs-suceurs) conduit, en effet, à n'utiliser que sur un parcours réduit, compris entre les deux « liaisons » successives, les rails de roulement et la terre comme circuit offert au courant de retour.

Faute de feeder ou de ligne de contact de retour, le circuit complexe : rails de roulement et terre, est le seul qui soit offert au courant revenant de la locomotive ou de l'automotrice électrique à l'usine ou à la sous-station d'alimentation.

Que le circuit complexe : rails-terre, soit utilisé sur tout ou partie seulement de la ligne électrifiée, il est intéressant de connaître la résistance offerte par ce circuit complexe au courant alternatif, de rechercher les moyens de diminuer cette résistance, et de rechercher également comment on peut augmenter la proportion du courant de retour circulant dans les rails, c'est-à-dire augmenter K.

I. — Résistance électrique des rails et des joints de la voie.

On sait que, pour une fréquence donnée, la résistance apparente des rails en courant alternatif dépend essentiellement de la matière et du profil adoptés pour ces rails, et de l'intensité du courant.

La matière du rail intervient par ses qualités magnétiques et sa conductivité. Le profil intervient par le rapport $\frac{P}{S}$ du périmètre à la surface de la section.

Pour les rails de roulement, le choix du profil et des qualités de l'acier à employer dépend surtout de considérations relatives au travail mécanique auquel ils sont soumis. Dans ces conditions, une diminution suffisante de leur résistance au passage du courant alternatif est difficile à obtenir. Aussi est-ce seulement par un éclissage électrique soigné des joints des rails que l'on peut diminuer la résistance des voies de roulement utilisées comme conducteur de retour du courant de traction.

Il est donc utile de connaître d'abord la résistance des rails utilisés sur les voies électrifiées et de déterminer ensuite le type d'éclissage électrique à adopter pour obtenir une résistance aussi faible que possible pour ces voies.

Dès 1909, lors de l'étude des projets d'électrification par courant alternatif simple, la Compagnie du Midi fit procéder à des mesures de la résistance électrique des rails et des joints qu'elle se proposait d'installer sur ses lignes électrifiées. C'est sous la direction de M. Eydoux, ingénieur de la Voie à la Compagnie du Midi, à Toulouse, et de M. Camichel, directeur de l'Institut électrotechnique de Toulouse, que ces mesures furent effectuées au Laboratoire et sur des voies en service.

Bien que ces expériences soient déjà anciennes et qu'elles n'aient porté que sur des intensités de courant relativement faibles, il nous a paru intéressant de les rappeler et de faire connaître les résultats obtenus.

I. — Mesures au Laboratoire. — Les expérimentateurs ont d'abord déterminé au Laboratoire les constantes électriques du rail normal ainsi que des joints mécaniques faits avec toutes les précautions utiles.

A. — Résistance en courant continu. — *Rail Midi.* — Ce rail est à double champignon, il présente une section de 48,87 cm², et son poids par mètre courant est de 37,520 kg ; son profil est donné ci-contre (fig. 1).

Les longueurs normales utilisées de ce rail sont de 5,50 m, 11 m et 22 m.

La résistance en courant continu a été déduite de la formule $R = \frac{E}{I}$.

Digitized by Google

Le courant était fourni par une batterie d'accumulateurs et son intensité I était mesurée par un ampèremètre étalon Weston.

La différence de potentiel E était celle existant entre deux points du rail situés à une distance suffisante des

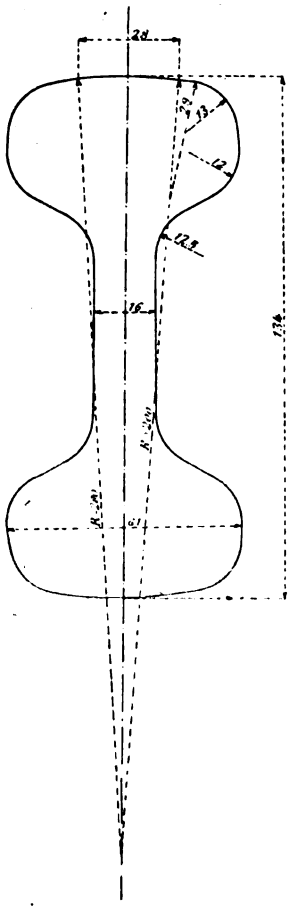


Fig. 1. — Profil de rail Midi.

extrémités de ce rail pour que le courant soit supposé uniformément réparti dans toute la section.

Cette différence de potentiel E était mesurée à l'aide d'un potentiomètre très sensible.

Les diverses mesures effectuées à la température ambiante de 18° C ont donné comme résultat moyen, pour 1 m de longueur de rail, $R_r = 3{,}95 \times 10^{-5}$ ohm.

La résistivité de l'acier constituant ce rail est, par suite, $\rho = 19{,}3 \times 10^{-6}$ ohm-centimètre, à 18° C.

Eclissages mécaniques des rails. — En utilisant le même dispositif pour la mesure de E et de I, on a déterminé la résistance R_e de divers éclissages.

1° Un éclissage formé de deux bouts de rails très oxydés réunis par deux éclisses-ponts et dont les surfaces en contact avaient été grossièrement dérouillées, à la lime, a accusé une résistance

$$R_e = 124{,}5 \times 10^{-5} \text{ ohm};$$

2° Un éclissage formé de deux bouts de rails neufs réunis par deux éclisses-ponts fixées par quatre boulons de 25 mm, dont les surfaces de contact des rails étaient brutes de laminage, mais dont les surfaces correspondantes des éclisses avaient été seulement grossièrement dérouillées à la lime, a offert une résistance

$$R_e = 27 \times 10^{-5} \text{ ohm, toujours à } 18° \text{ C};$$

3° Après nettoyage au papier de verre des surfaces de contact, le joint ci-dessus a accusé comme résistance $R_e = 3{,}6 \times 10^{-5}$ ohm, à la même température de 18° C;

4° Le même joint que ci-dessus, après avoir été frappé à plusieurs reprises, alternativement sur un rail et sur

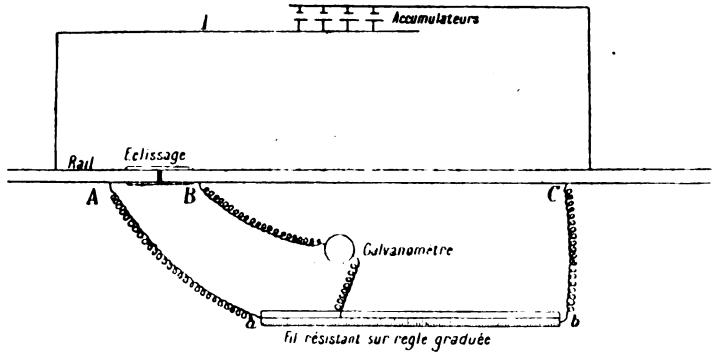


Fig. 2. — Mesure du rapport de la résistance d'un join à la résistance de 1 m de rail (Courant continu).

l'autre à l'aide d'un marteau d'un poids de 5 kg, a donné comme résistance $5{,}2 \times 10^{-5}$ ohm.

Ce martelage, rappelant celui auquel sont soumis les joints des voies, avait dû provoquer un desserrage ou un décoincement des boulons, et rendre ainsi moins parfait le contact des éclisses et des rails, d'où l'augmentation de résistance accusée après ce martelage.

Après un nouveau martelage et un resserrage énergique des boulons, la résistance a été ramenée à $3{,}6 \times 10^{-5}$ ohm, comme précédemment.

En dehors des mesures directes de la résistance des éclissages, des mesures de comparaison entre la résistance des joints et celle de longueurs connues du rail Midi ont été effectuées en utilisant un galvanomètre à miroir Deprez-d'Arsonval, très sensible, de 2 ohms de résistance intérieure, comme appareil de zéro, sur un pont de Wheatstone monté comme l'indique le schéma ci-contre (fig. 2).

L'approximation donnée par cette mesure dans l'évaluation des résistances est au moins de 1 pour 100, malgré la faible valeur relative des résistances mesurées qui étaient de l'ordre de 1×10^{-4} ohm, alors que la résistance de comparaison du pont était d'environ 0,8 ohm.

Digitized by Google

Les mesures de comparaison ont porté sur des joints mécaniques, différant soit par le type des éclisses, soit par la propreté et la régularité des surfaces en contact des rails et des éclisses. Elles ont notamment permis de constater qu'avec le courant continu, un même joint, toujours convenablement ajusté et serré au point de vue mécanique, pouvait présenter une résistance variant dans le rapport de 1 à 40 (soit celle de 0,15 m de rail Midi courant ou celle de 6 m de rail courant) selon que la simple oxydation de laminage avait été enlevée ou non.

B. — Résistance en courant alternatif. — La méthode suivie pour déterminer la valeur de la résistance opposée par les rails et les joints au passage des courants alternatifs est basée sur la comparaison de l'énergie dépensée par effet Joule, sur deux parties d'un même circuit, parcouru par un courant I.

$$\frac{W}{W'} = \frac{RI^2}{R'I^2} = \frac{R}{R'}.$$

A cet effet, le galvanomètre sensible Deprez-d'Arsonval, employé ci-dessus, a été utilisé comme milliwattmètre, en remplaçant les aimants permanents par deux bobines plates comportant chacune 40 spires de gros fil, réparties en quatre couches.

Le noyau en fer doux avait été enlevé de l'intérieur du cadre, et les plans d'enroulement du cadre et des bobines étaient perpendiculaires.

Ces bobines à gros fil étaient parcourues en série par le courant principal; le cadre à fil fin d'une résistance de 2 ohms était traversé par un courant dû à la différence de potentiel provoquée par le passage du courant principal dans la partie du circuit dont on recherchait la résistance ou l'impédance.

Les angles de torsion de la suspension du cadre étaient proportionnels à l'énergie $W_1 = RI^2$ dépensée par le courant I dans le circuit considéré.

Pour un conducteur sans self-inductance, R est la résistance ohmique; pour un conducteur avec self-inductance, R est l'impédance ou résistance apparente du conducteur en courant alternatif.

Les déviations du cadre étaient lues avec une lunette visant, dans un miroir fixé au cadre mobile, les divisions d'une échelle graduée en millimètres.

Une lame de mica, collée sur le cadre et plongeant dans un godet d'huile, servait d'amortisseur des oscillations du cadre.

Avec cet appareil, les expériences suivantes ont été effectuées :

a) On a réuni les bornes de l'enroulement en fil fin du cadre mobile, d'abord aux points A et B (fig. 3), extrémités de l'éclissage à vérifier, puis aux points C et D, situés à 1 m l'un de l'autre, marqués sur le rail le plus long, appartenant à l'éclissage.

Le rapport du déplacement du miroir, correspondant aux prises A et B et aux prises C et D, pour une même intensité de courant, donne le rapport des résistances R'_e et R'_r de l'éclissage et de 1 m de rail.

On a mesuré les élongations produites, toujours pour ces deux prises A, B et C, D, en faisant varier l'intensité du courant traversant les rails et le joint ainsi que la fréquence de ce courant lorsqu'il s'agissait du courant alternatif. Le rapport de la résistance de l'éclissage AB à la résistance de 1 m de rail courant était donné par le rapport des élongations correspondantes obtenues dans les mêmes conditions d'intensité et de fréquence.

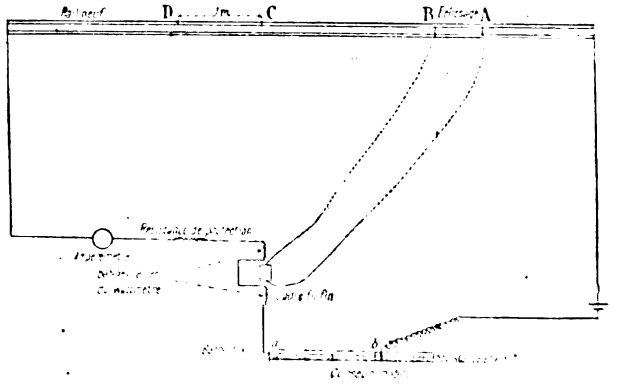


Fig. 3. — Mesure du rpport de la résistance d'un joint à la résistance de 1 m de rail (Courant continu et alternatif).

On a reconnu que le rapport $\frac{R'_e}{R'_r}$ variait entre 1,39 et 1,30 pour des intensités du courant comprises entre 22 et 30 A, lorsque la fréquence passait de 14,5 p : sec à 20,3 p : sec.

b) Pour une nouvelle série de mesures, le courant traversant les rails assemblés et l'éclissage essayé passait à travers une résistance étalon formée d'un fil rectiligne en cuivre, de résistance connue $14{,}62 \times 10^{-4}$ ohm, la même d'ailleurs en courant continu et en courant alternatif.

En faisant circuler un courant continu fourni par une batterie d'accumulateurs et en réunissant aux bornes du cadre mobile tantôt les deux extrémités de l'éclissage ou d'une longueur de 1 m de rail courant, tantôt les extrémités de la résistance étalon, on obtenait le rapport de la résistance R_e de l'éclissage ou de la résistance R_r de 1 m de rail à celle $R_t = 14{,}62 \times 10^{-4}$ ohms de la résistance étalon par le rapport des élongations correspondantes.

Les rapports des élongations obtenues pour les mêmes valeurs de l'intensité et de la fréquence d'un courant alternatif d'intensité et de fréquence variables, traversant le même circuit, ont permis d'obtenir les valeurs successives de l'impédance R'_e de l'éclissage et R'_r du rail essayés, du moment que l'on connaissait $R'_t = R_t = 14{,}62 \times 10^{-4}$ ohm.

c) Pour diminuer les chances d'erreur et assurer les lectures des élongations correspondantes avant que l'intensité et la fréquence varient sensiblement, le dispositif ci-dessus a été modifié comme suit, pour une nouvelle série de mesures.

Digitized by Google

Un commutateur bipolaire à trois directions dont les contacts étaient réalisés dans des godets en porcelaine

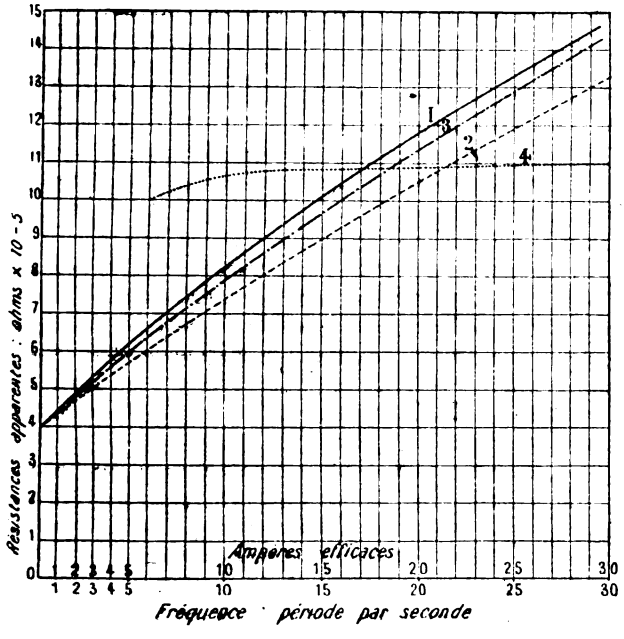


Fig. 4. — Résistance de 1 m de rail Midi en courant alternatif.

1 Intensité de 10 A fréquence variable
2 Id. 7,5 Id.
3 Id. 15 Id.
4, 16 pér : sec et intensité variable.

contenant du mercure permettait par une manœuvre rapide de relier les fils du cadre mobile, soit aux extrémités de la résistance étalon a, b, soit à celles A, B de l'éclissage, soit à celles C, D d'une longueur de 1 m de l'un des rails assemblés.

En outre, la résistance étalon était constituée par un fil de cuivre de 6o/10 tendu sur une règle graduée. Les deux prises du cadre mobile s'effectuant l'une à la borne placée au zéro de la règle, l'autre à la borne d'un curseur mobile le long du fil.

Au lieu de mesurer les résistances par le rapport des élongations du cadre, on déplaçait le curseur mobile de façon à obtenir la même élongation pour un courant d'intensité et de fréquence données, avec la résistance à déterminer et avec la résistance de la longueur utilisée du fil étalon.

Lorsque les élongations étaient les mêmes, c'est que la résistance cherchée était égale à celle de la partie du fil étalon comprise entre le curseur mobile et la borne zéro. La résistance à déterminer se lisait donc en longueur du fil de cuivre étalon.

D'après ces expériences, la résistance R' du rail en courant alternatif augmente très rapidement avec la fréquence du courant. Elle augmente aussi, mais moins rapidement, avec son intensité, comme le montrent les courbes de la figure 4.

Le rapport $\frac{R'_r}{R_r} = \frac{\text{Résistance de 1 m de rail Midi en courant alternatif}}{\text{Résistance de 1 m de rail Midi en courant continu}}$,

a été trouvé égal à

2,5	pour du courant alternatif	10 A, 15 périodes : sec,
3,5	Id.	10 A, 25
4	Id.	10 A, 35
4.9	Id.	10 A, 50

En ce qui concerne la résistance des éclissages essayés au laboratoire, il y a lieu de tenir compte de ce que chacun d'eux comporte une longueur de rails assez notable,

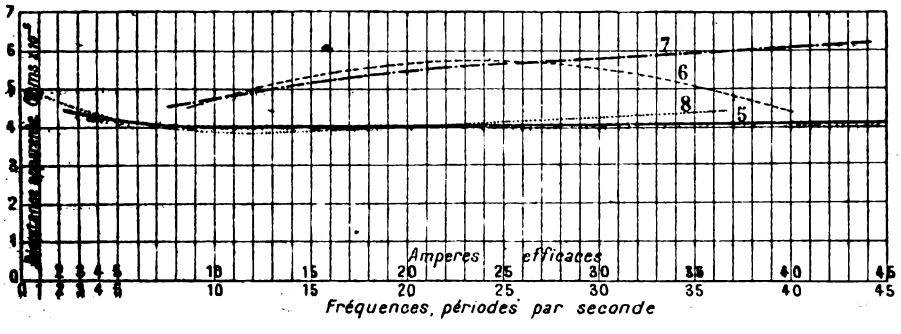


Fig. 5. — Résistance d'un joint de voie en courant alternatif.

5 résistance propre des joints avec éclisses-ponts, 10 A eff., fréquence variable
6 Id. Id. 7,5 A Id.
7 Id. Id. 15 A Id.
8 Id. Id. 16 pér : sec, intensité variable.

en raison de la longueur des éclisses d'abord et de ce que les prises A et B n'ont pu être ménagées rigoureusement aux extrémités mêmes de l'éclissage. La valeur trouvée dans chaque cas pour la résistance d'un éclissage comprend la résistance de 0,75 m de rail.

La résistance propre au joint lui-même est la différence entre la résistance trouvée de A en B et celle de 0,75 m de rail. C'est cette résistance pour un joint exécuté au laboratoire qui est donnée par les courbes de la figure 5. Ces courbes montrent que la résistance appa-

Digitized by Google

rente de ce joint n'a varié que de 4×10^{-5} ohm à 6×10^{-5} ohm, lorsque l'intensité et la fréquence du courant alternatif, traversant ce joint, variaient dans les limites indiquées.

II. — **Mesures sur les voies exploitées.** — Les expériences ci-dessus rapportées montrent que la résistance d'un éclissage peut varier dans de très grandes limites, selon ses conditions d'établissement : propreté des surfaces de contact, serrage des boulons d'éclisses, martelage du joint, etc. Les mesures effectuées sur les voies exploitées ont fait ressortir encore mieux ces variations de la résistance d'un même joint, et les difficultés qu'il y aurait à maintenir cette résistance dans des limites relativement étroites, même durant des périodes de temps assez courtes, de l'ordre d'une journée par exemple.

Mais ces mesures ont montré surtout que, en raison de ces énormes variations présentées par un même joint ou par des joints identiques de pose et de construction, il n'était pas utile de tenir compte dans nos expériences de la différence relativement faible que présentait la résistance opposée par un joint au passage du courant continu, par rapport à celle opposée par le même joint au passage du courant alternatif. Aussi, la grande majorité des mesures auxquelles il a été procédé sur les voies exploitées ont-elles été faites en utilisant seulement du courant continu fourni par des accumulateurs facilement transportables.

Les mesures ont été effectuées avec des ohm-mètres transportables dérivant, soit du pont de Wheatstone, soit du pont double de Lord Kelvin.

a) Mesures faites a Toulouse-Saint-Ange. — Elles ont eu lieu sur une partie de voie spécialement aménagée entre les P. K. 3,900 et 4,400 de la ligne de Toulouse à Bayonne.

Les essais faits ont porté :

1° *Sur 18 joints de rails de 11 m avec éclisses-ponts posées en 1902.*

Des mesures faites à divers moments ont donné comme résistance moyenne par joint : 0,82, 0,16 et 0,12 ohm, avec de fortes variations d'un joint à l'autre.

Ces valeurs sont de 10^4 à 10^5 fois plus fortes que les valeurs minima trouvées au Laboratoire, et sont équivalentes à la résistance de 20 km, 4 km et 3 km de rail en courant continu.

2° *Sur 34 joints de rails de 11 m avec éclisses-ponts installées pour les essais ; les surfaces en contact des rails et des éclisses avaient été préalablement frottées avec du grès.*

Les valeurs moyennes de la résistance des joints prises à divers moments ont varié de 15×10^{-5} à 143×10^{-5} ohm, soit une variation de 3,75 m à 36 m de rail en courant continu et de 25 fois à 240 fois la valeur minimum de la résistance trouvée au Laboratoire.

3° *Sur 30 joints de rails de 11 m avec éclisses ordinaires, les surfaces en contact des rails et des éclisses étant frottées avec du grès.*

Diverses mesures ont donné pour la valeur moyenne de la résistance du joint, de 41×10^{-5} à 303×10^{-5} ohm, soit de 10 m à 75 m de rail en courant continu.

Les deux dernières mesures effectuées ont montré une variation de la résistance dans le rapport de 1 à 3 environ due à l'action calorifique du soleil sur les rails lors de la deuxième mesure.

Il a été constaté, en outre, une diminution de la résistance d'un joint dans le rapport de 3 à 1, du fait du passage d'un train.

b) Mesures faites sur la ligne de Bordeaux a Cette. — Une première série d'expériences a été faite à Port-Sainte-Marie entre les P. K. 114 et 115 de la ligne de Bordeaux à Cette, et une deuxième série à Montauban entre les P. K. 207 et 208 de la même ligne. La voie était armée de rails de 22 m avec éclisses-ponts nouveau type à 6 boulons de 25 mm.

Ces mesures faites sur des joints posés sans soins spéciaux ont donné des valeurs moyennes de la résistance des joints allant de 0,0108 à 0,61 ohm avec de fortes variations pour le même joint, suivant l'action du soleil sur les rails.

Ces valeurs, exprimées en mètres de rail en courant continu, allaient de 520 m à 15 000 m de rails, soit de 3500 à 100 000 fois la valeur minimum trouvée au Laboratoire.

c) Mesure de la résistance des aiguillages. — Les aiguillages essayés comportaient des aiguilles à patin de 5 m de longueur et avaient été choisis parmi les plus fréquemment utilisés.

Les résistances mesurées comprenaient :

1° Le rail contre-aiguille et le joint de talon entre les points A et B (fig. 6).

2° Le rail contre-aiguille, les contacts sur coussinets entre le rail contre-aiguille et la lame et le joint de talon, entre les points A et C.

Les résultats obtenus sont les suivants :

1° Avant la manœuvre d'une première aiguille, la résistance AB était de 72 ohms, et cette résistance a atteint 85 ohms après la manœuvre de cette aiguille et son retour à sa précédente position.

Pour la deuxième aiguille de même structure, les mesures correspondantes ont donné 0,048 ohm, avant et après sa manœuvre pour la résistance de AB.

2° Pour la première aiguille ci-dessus, la résistance entre A et C est passée de 115 ohms à 50 ohms par la manœuvre de l'aiguille, la lame n'étant pas appliquée contre le rail contre-aiguille dans les deux cas. La même résistance est passée de 5 ohms à 2 ohms par la manœuvre de l'aiguille, la lame étant appliquée contre le rail contre-aiguille dans les deux cas.

Pour la seconde aiguille, la manœuvre n'a rien changé aux résistances de AC qui étaient de 0,053 ohm, avec la lame appliquée et 0,65 ohm avec la lame non appliquée.

Digitized by Google

d) MESURES DE LA RÉSISTANCE DES CROISEMENTS. — Les croisements soumis aux essais étaient des croisements avec cœur en rails assemblés.

Les mesures effectuées avaient pour but de déterminer

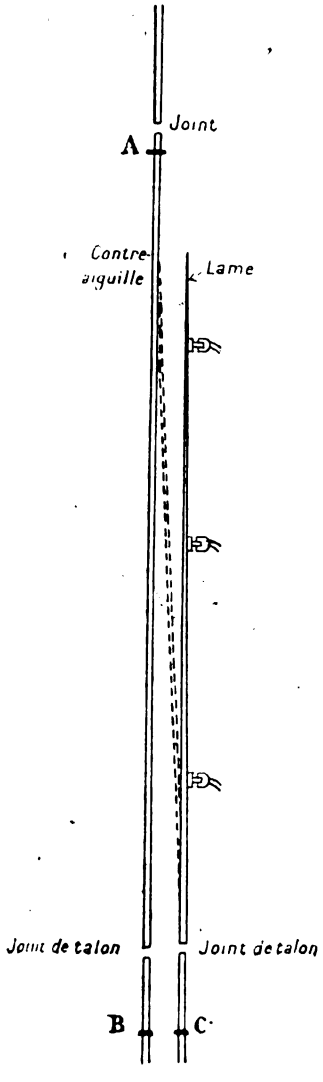


Fig. 6. — Mesure de la résistance des joints de talon d'un aiguillage.

la résistance entre les points A et B situés sur une file de rails ininterrompue (fig. 7).

Sur un premier croisement, une mesure faite alors que le soleil brillait a donné 0,075 ohm. Cette valeur a ensuite varié, le joint travaillant par suite de la disparition du soleil. A la suite d'un craquement du cœur, la résistance de nouveau mesurée, a été trouvée égale à 0,150 ohm, soit le double de la valeur trouvée d'abord.

Pour un deuxième croisement identique au précédent, la résistance AB était de 0,082 ohm, au moment où le soleil chauffait les rails. Cette résistance a augmenté au fur et à mesure du refroidissement des rails, dû à la disparition du soleil.

III. — **Discussion.** — Ces expériences ont démontré que :

1° Au même instant deux joints de construction identique pouvaient présenter des résistances très différentes ;

2° Un même joint pouvait présenter, à un certain moment, une résistance bien différente de celle qu'il accusait quelques instants auparavant.

La résistance d'un joint varie, en effet, dans d'énormes proportions suivant la température, la position du joint et le passage des trains.

Par suite, pour obtenir une résistance relativement

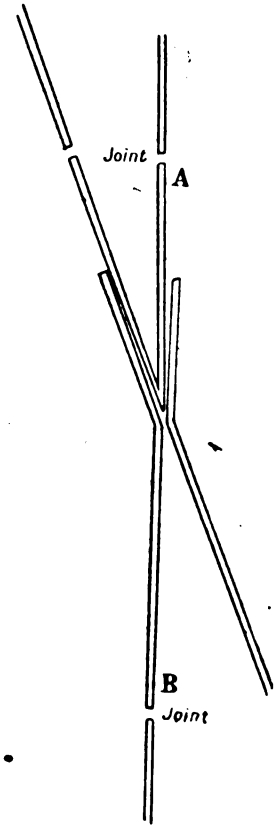


Fig. 7. — Mesure de la résistance d'un croisement de voie.

constante et susceptible d'être approximativement connue, sans qu'il soit utile d'effectuer des mesures à tout instant, il est nécessaire de rechercher un éclissage particulièrement soigné au point de vue électrique.

L'entretien des joints mécaniques ne peut donner aucune certitude à ce point de vue, quel que soit le type d'éclisses adopté.

Malgré leur serrage énergique et l'excellent appui qu'elles donnent au rail, les éclisses-ponts présentent d'énormes variations dans la résistance électrique du joint.

Pour conserver aux joints par éclisses-ponts une

Digitized by Google

résistance relativement constante, il faudrait les reviser fréquemment ; or, la réfection des joints par éclisses-ponts entraîne un resabotage, qui ne peut qu'être fâcheux au point de vue de la conservation des traverses et de la résistance des attaches de la voie.

Dans ces conditions, l'éclissage mécanique doit être accompagné d'un éclissage électrique des joints de la voie.

Cet éclissage électrique des joints est d'ailleurs à compléter par la pose, de distance en distance, de liaisons transversales reliant les files de rails les unes aux autres, pour se prémunir contre les joints défectueux sur une file, et pour permettre le remplacement des rails qui doit d'ailleurs s'effectuer tantôt sur une file, tantôt sur l'autre, pour éviter toute discontinuité du conducteur de retour formé par les rails de roulement.

IV. — **Eclissage électrique par des connexions en cuivre.** — Après les essais rapportés ci-dessus, la Compagnie du Midi a envisagé l'éclissage électrique d'un joint à l'aide d'une connexion formée d'une lame de cuivre de 35 mm de largeur et de 1 mm d'épaisseur, soit de 35 mm² de section. Cette lame avait une longueur de 0,135 m et possédait une résistance propre de 7×10^{-5} ohm environ.

Cette lame était ondulée afin de présenter plus d'élasticité aux chocs verticaux et aux écarts des rails par dilatation. Elle se fixait sur le côté intérieur de chacun des rails en regard près de son extrémité, par une bague conique.

Le diamètre intérieur des bagues était de 26 mm ; il permettait le serrage de l'éclisse-pont par un boulon de 20 mm à l'extrémité correspondante de la lame. Des boulons de 25 mm aux deux autres trous de chaque rail, complétaient et assuraient la solidité mécanique du joint.

Deux échantillons de cet éclissage électrique furent montés à l'aval de la gare de Pezens, sur deux joints placés face à face sur chaque file de rails de la voie des trains pairs de la ligne de Bordeaux à Cette. Cette voie avait été choisie, d'une part, parce qu'elle était très fatiguée par suite du nombre et du tonnage important des trains qui la suivent ; et, d'autre part, parce qu'elle était armée avec des rails de 22 m, réunis par des éclisses-ponts du nouveau type choisi pour l'armement des lignes dont l'électrification était projetée.

Le temps nécessaire pour enlever les éclisses-ponts déjà en place, nettoyer les trous de fixation, poser l'éclissage électrique et remplacer les éclisses-ponts, a été de 9 minutes par joint.

La résistance électrique du joint immédiatement après pose a été trouvée égale à 8×10^{-5} ohm, soit l'équivalent de 0,75 m de rail, en courant alternatif 15 p : sec.

Une semaine plus tard, les joints ont été mesurés de nouveau et la résistance a été trouvée la même, soit 8×10^{-5} ohm.

Les éclisses-ponts des deux joints ont alors été enlevées et l'éclissage électrique encore installé, la résistance de nouveau mesurée de chaque joint a été trouvée égale encore à 8×10^{-5} ohm.

L'éclissage électrique de l'un des joints ayant été enlevé et le joint remonté avec les éclisses-ponts seulement, la résistance du joint a été trouvée égale à 460×10^{-5} ohm, soit 57 fois plus grande qu'avec la connexion en cuivre en place.

Le temps employé pour enlever l'éclissage électrique, y compris le démontage et le remontage des éclisses-ponts, a été de 7 minutes seulement.

Le deuxième joint a été remonté avec son éclissage électrique. Quelques semaines après sa pose, une nouvelle mesure a permis de trouver que ce joint avait conservé sa résistance primitive de 8×10^{-5} ohm.

A la suite de ces résultats, la Compagnie du Midi fit procéder à la pose de connexions en cuivre du type ci-dessus entre Capvern et Lourdes. Mais, sur cette section, la plupart des connexions étaient rompues et devaient être remplacées quelques mois après leur pose. Les cassures furent attribuées à l'élasticité insuffisante de l'unique lame gaufrée constituant ce type de connexion. On résolut d'installer, sur la section Lourdes-Pierrefitte, un type de connexion en cuivre, composé de 3 lamelles de cuivre gaufrées et soudées ensemble à leurs extrémités et coincées dans les rails par des bagues coniques. Dès le début de leur pose, on reconnut que les ondulations centrales de ces connexions étaient cisaillées entre les abouts des rails des joints, et on adopta finalement, pour cette section Lourdes-Pierrefitte, une connexion en cuivre à trois lamelles ondulées, mais présentant une partie plane vers le milieu de leur longueur pour éviter le cisaillement signalé ci-dessus.

Alors que les frais d'achat et d'installation de telles connexions sur une longueur de 7 km environ s'étaient élevés à environ 2 500 fr, la vérification et la remise en état de cet éclissage électrique ont entraîné, peu après une année de service, une dépense légèrement supérieure à 1 500 fr, car 549 des connexions furent trouvées cassées et à remplacer sur un total de 1 352.

L'éclissage électrique par des connexions en cuivre placées sous les éclisses mécaniques entraîne donc, en plus du prix d'achat et de pose du début, un entretien coûteux, résultant, d'abord, du remplacement des connexions rompues, puis, et surtout, des sujétions qu'entraîne ce remplacement, à savoir : la dépose et la repose des éclisses mécaniques. Cette dépose est tout particulièrement onéreuse dans le cas des éclisses-ponts, car elle entraîne le resabotage des traverses.

V. — **Eclissage électrique sans connexions.** — L'emploi d'éclissages électriques des joints pour lesquels la dépense d'entretien soit bien moins élevée, présente donc un certain intérêt.

L'emploi de connexions en cuivre, longues, placées extérieurement aux éclisses mécaniques, est extrêmement simple et relativement peu coûteux ; mais la facilité avec laquelle ces connexions peuvent être soustraites, exclut leur emploi, sur certaines parties de voie tout au moins.

Sans étudier ici tous les systèmes d'éclissage électrique en usage, nous croyons intéressant de signaler

Digitized by Google

celui que la Compagnie du Midi a adopté dès 1907, sur la ligne électrique à courant continu 850 v de Villefranche-Vernet-les-Bains à Bourg-Madame (ligne de Cerdagne).

Cet éclissage utilise les éclisses mécaniques elles-mêmes et élimine l'emploi d'éclisses électriques et de connexions. Il comporte le décapage, soit au moyen d'un jet de sable, soit au moyen d'un grattage soigneux des surfaces d'application des éclisses mécaniques et des rails qu'elles doivent relier. Ces surfaces bien nettoyées et suffisamment lisses sont enduites d'une couche d'une pâte métallique qui a pour but d'empêcher complètement leur oxydation.

Immédiatement après l'exécution de cet éclissage, une longueur de 1 m sur une file de rails, que cette longueur comprenne un joint ainsi éclissé ou 1 m de rail courant, présente la même résistance, ce qui revient à dire que cet éclissage n'ajoute rien à la résistance donnée par les rails eux-mêmes.

Au cours de l'année 1916, la Compagnie du Midi fit procéder avec l'appareil de M. Lebaupin (1) à la vérification d'un grand nombre des joints ainsi confectionnés de 1908 à 1910.

Cette vérification a montré que 28 pour 100 des joints des rails de roulement et 37 pour 100 des joints du troisième rail présentaient une résistance égale à celle mesurée six à huit ans auparavant.

Sur de grandes longueurs de voie, 97 pour 100 des joints présentaient encore une résistance inférieure à celle de 3 m de rail courant, ce qui revient à dire que, sur ces longueurs de voie, la présence des joints n'augmentait la résistance des files de rails que de 17 pour 100 au plus.

D'après les résultats de cette vérification, on peut admettre que, par un entretien et une visite rendus relativement faciles, grâce à l'emploi de l'appareil de M. Lebaupin, la résistance d'une file de rails ainsi éclissés ne dépasse pas celle des rails eux-mêmes de plus de 30 pour 100.

VI. — **Résistance d'une voie de roulement.** — D'après ce qui a été dit ci-dessus, la résistance apparente de 1 km de voie unique Midi comportant deux files de rails reliés par des éclisses-ponts et des connexions en cuivre toutes supposées en bon état, peut être évaluée en ohms à

$$\frac{1}{2}\times[1000\times 2{,}5\times 4\times 10^{-5}+99\times 8\times 10^{-5}],$$

soit : 0,05396 ohm,

pour un courant alternatif d'une intensité moyenne à 16 2/3 p : s.

Avec un éclissage à la pâte, comme sur la ligne de Cerdagne, chaque joint introduisant une résistance égale à 2 m de rail courant, en moyenne, on aurait pour la résistance apparente de 1 km de voie unique, en ohms

$$\frac{1}{2}\times[1000\times 2{,}5\times 4\times 10^{-5}+99\times 2\times 4\times 10^{-5}],$$

soit encore la même valeur que précédemment : 0,05396 ohm.

Mais ce qu'il faut surtout retenir ici, c'est qu'avec les connexions en cuivre, on ne peut compter conserver la résistance apparente ci-dessus calculée qu'à la condition de s'assujettir à un entretien coûteux; alors qu'avec l'éclissage à la pâte, cette valeur calculée est, d'après les résultats acquis sur la ligne de Cerdagne, celle que l'on constate encore après plusieurs années de service, sans frais importants d'entretien.

Nous rappellerons à ce propos que, lors des mesures effectuées dès la fin de l'année 1913, quatre mois seulement après la pose des connexions en cuivre aux joints des rails de la voie Lourdes-Pierrefitte, la résistance apparente de 350 m de voie pour un courant alternatif 16 2/3 p : s d'une intensité de 20 A était de 0,0665 ohm.

Ceci correspond à une résistance apparente de 0,185 ohm pour 1 km de voie, plus de trois fois plus forte que la valeur théorique calculée ci-dessus.

C'est au mauvais état, vérifié par la suite, des connexions électriques des joints, quoique relativement récentes de pose, que l'on doit attribuer cette résistance élevée. Beaucoup de connexions étaient en effet rompues.

Chute de tension dans la voie. — En admettant cependant la valeur calculée de 0,05396 ohm pour la résistance de 1 km de voie unique, avec un courant de retour d'une intensité de 200 A, circulant dans les rails, la différence de tension entre deux points éloignés de 10 km sur la voie pourrait atteindre 108 v. Une telle chute de tension risquerait certainement de créer des différences de potentiel inadmissibles en certains points de la ligne, entre les rails et le sol immédiatement voisin.

C'est ainsi que nous avons pu constater une différence de potentiel de 6 v entre le sol au contact de la voie et le sol, à 6 m du rail le plus voisin, auprès de la gare d'Argelès-Gazost, entre Lourdes et Pierrefitte.

Pour éviter ces différences de tension entre rails et sol, les rails de la voie sont reliés à des « plaques de terre » réparties tous les 3 ou 4 km en moyenne. Ces terres sont réalisées aux points les plus favorables d'après la nature du sol, et notamment dans les cours d'eau traversés par la voie ferrée. Il est évident que leur présence favorise les dérivations du courant de retour dans le sol.

La recherche des moyens d'améliorer la résistance apparente de la voie de roulement en courant alternatif, en particulier par l'éclissage électrique des joints des rails, et l'installation de prises de terre reliées à ces rails, paraissent deux mesures contradictoires. L'éclissage électrique en effet, ne semble utile à priori, que pour maintenir le courant de retour dans les rails.

(1) Voir le n° 32, février 1914, du *Bulletin de la Société Internationale des Electriciens*.

Digitized by Google

Lors de leur électrification, l'éclissage électrique des joints des rails a été cependant presque toujours adopté sur les divers réseaux utilisant les rails de roulement comme conducteur de retour. Il eût été intéressant de savoir si cet éclissage électrique a été bien entretenu par la suite. Nous n'avons pu nous renseigner exactement sur les sujétions et les frais que comportait pour ces installations l'entretien de cet éclissage.

Dans les installations à courant continu, la variation de résistance du conducteur de retour est très sensible, dès que quelques connexions sont rompues. C'est généralement par des mesures fréquentes de cette résistance du conducteur de retour que l'on apprécie l'état de l'éclissage et que l'on est averti en temps utile du besoin d'une vérification détaillée des joints.

Avec le courant alternatif, les mises à la terre fréquentes des rails le long de la voie paraissent devoir rendre superflu un tel entretien, car elles offrent au courant de traction un conducteur de retour complexe dont la résistance apparente ne varie pas sensiblement pour une longueur de voie de plusieurs kilomètres, que les connexions électriques de quelques joints soient rompues ou non.

L'éclissage électrique des joints des rails de roulement sur les lignes où l'emploi du courant alternatif monophasé était prévu pouvait donc paraître inutile. La Compagnie du Midi fit alors procéder à plusieurs séries d'expériences ayant pour but d'étudier si, dans certains cas, cependant, cet éclissage pouvait être avantageux.

II. — Dérivation du courant de retour dans le sol.

I. — **Mise à la terre des rails de la voie.** — Sur les lignes à courant monophasé de la Compagnie du Midi la mise à la terre des rails de roulement est réalisée :

1° Par la réunion des files de rails aux pylônes métalliques supportant la ligne aérienne. Chacun de ces pylônes, implanté dans un massif de béton, est lui-même « mis à la terre » par une connexion métallique traversant le massif et s'enfonçant dans le sol au-dessous du massif.

Des mesures effectuées par nos soins ont montré que la résistance des « terres » ainsi réalisées variait de 100 ohms à 25 ohms, selon la nature du terrain où elles étaient placées.

2° Par la réunion des rails à des « prises de terre » dites « terres supplémentaires », formées soit par une feuille de tôle de zinc de 1 m² de surface, soit par des coupons de rails, soit encore par des tuyaux en tôle enfoncés dans le sol. Ces « terres supplémentaires », généralement réparties tous les 3 ou 4 km en moyenne, ont été exécutées dans les lits des cours d'eau traversés par la voie, ou dans les mares voisines. La résistance de l'une des terres ainsi réalisées est d'environ 15 ohms, en moyenne.

3° Enfin une mise à la terre permanente, non négligeable, est réalisée par le défaut d'isolement des rails par rapport au sol, aux passages à niveau notamment.

II. — **Mesures antérieures du courant revenant par la terre.** — Il nous paraît utile de rappeler ici quelques mesures faites sur diverses lignes à courant alternatif, autres que celles de la Compagnie du Midi, sur l'importance du courant dérivé.

a) Sur le chemin de fer de Murnau à Oberammergau, avec rails éclissés électriquement, 25 à 35 pour 100 du courant fourni par la ligne de contact aérienne revient par la terre.

b) Sur la ligne de Marienfelde à Zossen également éclissée électriquement, 27,5 pour 100 du courant de retour passe par la terre. L'intensité du courant de retour restant dans les rails a été reconnue d'autant plus faible que le point où elle était mesurée était plus éloigné de la connexion reliant la ligne aérienne aux rails.

Les conclusions des expériences effectuées sur cette ligne peuvent se résumer ainsi :

1° Les conditions climatériques ont joué un très faible rôle. On n'a pas constaté de différences sensibles, que les expériences aient eu lieu par temps sec ou par pluie abondante.

2° La liaison aux rails des plaques de terre réparties le long de la voie n'a pas exercé d'influence sensible sur les phénomènes.

3° En pratique, la grandeur de la surface des rails joue un rôle très important. S'il existe aux stations des postes d'aiguillage étendus, la terre est parcourue par un courant relativement important même quand le sol est tout à fait sec.

Ces conclusions ont été approximativement vérifiées par nos propres expériences; les quelques différences constatées peuvent être attribuées à ce que les longueurs des voies affectées aux essais entre Marienfelde et Zossen (1) ne dépassaient pas 3 km. Cette distance est, à notre avis, beaucoup trop faible pour se rendre exactement compte des conditions dans lesquelles s'effectue le retour du courant, ainsi que nous le verrons par la suite.

c) Sur la ligne à double voie dont les rails sont éclissés électriquement, de Dessau à Bitterfeld, la proportion de courant retournant par la terre a été évaluée à 36 pour 100.

d) Sur la ligne de l'Abtal, à voie unique, et dont les rails ne sont pas éclissés électriquement, la proportion de courant revenant par le sol est évaluée à 65 pour 100.

e) Sur la ligne du Wiesental, à voie unique, et dont une seule file de rails est éclissée électriquement, la proportion correspondante est de 40 pour 100.

Les expériences sur le réseau du Midi furent exécutées, d'une part, sur l'embranchement de Tarbes-Bagnères dont les rails ne comportaient pas d'éclissage électrique et, d'autre part, sur l'embranchement de Lourdes à Pierrefitte, après une revision et une réfection com-

(1) Voir l'article « Détermination expérimentale des grandeurs nécessaires au calcul des réseaux à courant alternatif », par L. Lichtenstein. *Elektrotechnische Zeitschrift*, 20 juin 1907 et l'*Eclairage électrique*, t. LII, 20 juillet 1907, p. 97; 3, 10, 17 et 24 août 1917, p. 167, 205, 245 et 280.

Digitized by Google

plètes de l'éclissage électrique réalisé sur cette section.

III. — **Expériences sur la ligne de Tarbes à Bagnères.** — Un feeder venant de l'usine de Soulom alimentait la caténaire Tarbes-Bagnères au P. K. 249,000 et un second feeder relié aux rails au même point assurait le retour du courant à l'usine.

Une automotrice remorquée par une locomotive à vapeur circulait avec un archet levé frottant contre le fil de contact de la caténaire. La borne de sortie de l'interrupteur principal à 12000 v de l'automotrice était directement reliée au châssis de l'automotrice, de telle sorte que, par la fermeture de cet interrupteur, on court-circuitait la caténaire aux rails aux points successifs où se trouvait le convoi.

La tension était réglée au départ de Soulom de façon que l'intensité du courant monophasé à 16 2/3 p : s, restât sensiblement constante quel que fût le point où se trouvait l'automotrice. Cette tension est, d'ailleurs, restée voisine de 6000 v, en raison de ce que le circuit suivi par le courant présentait la majeure partie de son impédance entre Soulom et le P. K. 249000.

Des observateurs respectivement placés aux passages à niveau nos 102, 105, 109 et 112 mesuraient l'intensité du courant circulant dans les rails, en chacun de ces points. A cet effet, des joints isolés remplaçaient les joints mécaniques correspondants pour permettre, à la fois, le passage des trains sur ces joints et le branchement des ampèremètres.

L'intensité du courant débité dans la caténaire était mesurée au départ à l'usine de Soulom et à son passage dans la sous-station de Tarbes que le feeder, dit « d'aller » traversait.

Mesures au P. N. 112 (P. K. 262,187). — L'opérateur placé au P. N. 112 relevait l'intensité du courant de retour passant dans les rails pendant que l'automotrice était remorquée du P. N. 112 vers Bagnères et qu'un débit, maintenu aussi voisin que possible de 50 A, circulait dans la ligne de contact. Les mêmes mesures étaient faites ensuite avec un débit maintenu voisin de 100 A, au cours d'un deuxième voyage de l'automotrice.

Les pylônes supports de la caténaire sont restés constamment réunis aux rails de la voie, assurant ainsi une certaine mise à la terre de ces rails. Mais, alors que, dans les deux séries de lectures signalées ci-dessus, les « terres supplémentaires » étaient connectées aux rails, au cours de deux nouvelles séries de lectures les liaisons des rails aux « terres supplémentaires » avaient été momentanément enlevées.

Une autre série de lectures a également été effectuée, les « terres supplémentaires » déconnectées, pendant que l'automotrice circulait entre le P. N. 112 et le P. K. 249000.

Les résultats obtenus dans ces diverses expériences ont été notés comme suit :

L'opérateur du P. N. 112 et un opérateur placé sur l'automotrice, ayant préalablement réglé leurs montres d'accord, étaient avertis de la mise en marche du convoi d'essai, par un coup de sifflet de la locomotive, et chacun d'eux faisait inscrire l'heure de départ par l'aide-opérateur qui lui était adjoint.

D'autre part, la fermeture de l'interrupteur principal ou disjoncteur de l'automotrice effectuée au moment du départ produisait à la sous-station de Tarbes, une déviation brusque de l'aiguille de l'ampèremètre, qui précisait le commencement de l'essai déjà annoncé d'ailleurs par un avis téléphonique quelques secondes auparavant.

A chaque passage sur les joints de la voie, soit tous les 11 m, dans le voisinage immédiat du P. N. 112, et devant chaque pylône ensuite, soit tous les 50 m, un coup de sifflet ordonnait à l'opérateur du P. N. 112 d'effectuer une lecture, que son aide inscrivait en regard de l'indication de l'heure. Cet avertissement s'entendait fort bien durant les premiers kilomètres, les essais ayant lieu de nuit. Après un certain parcours, lorsque les signaux acoustiques n'étaient plus distincts, l'opérateur du P. N. 112 continuait ses lectures à intervalles de temps égaux qui correspondaient d'ailleurs très approximativement aux passages du convoi devant les pylônes. A ce moment, d'ailleurs, les intensités lues au P. N. 112 variaient extrêmement peu, d'un pylône à l'autre, et les décalages d'heures des lectures ne pouvaient entraîner aucune erreur.

L'opérateur placé sur l'automotrice et son aide inscrivaient également l'heure de leur passage sur chaque joint au voisinage du P. N. 112 et devant chaque pylône pour la suite du parcours.

La vitesse d'avancement du convoi d'essai était suffisamment réduite pour permettre commodément toutes les lectures. Au voisinage du P. N. 112 la vitesse était celle du pas de l'homme et un arrêt était effectué aux joints des rails. Après un certain parcours à cette vitesse réduite l'allure du convoi était accélérée jusqu'à une vitesse de 18 km : h que l'on maintenait jusqu'à la fin du parcours. En raison de la régularité de l'espacement des pylônes, les lectures s'effectuaient toutes les 10 secondes très approximativement.

Les heures inscrites par les divers opérateurs étaient ensuite rapprochées et les lectures correspondantes des instruments de mesure également.

Au cours de chaque expérience, l'intensité du courant débité variait légèrement. Les variations étaient assez faibles pour que les rapports trouvés entre l'intensité du courant passant dans les rails et l'intensité débitée dans la caténaire puissent être considérés comme se rapportant au cas où l'intensité du courant débité dans la caténaire serait restée constante durant l'avancement du convoi, c'est-à-dire soit 50, soit 100 A.

Les courbes reproduites à la figure 8 représentent les résultats des diverses expériences. Les distances successives de l'automotrice au P. K. 249000 ont été portées en abscisses et la proportion du courant de retour passant dans les rails au P. N. 102, correspondant à chaque position du convoi sur la ligne, a été portée en ordonnées.

Digitized by Google

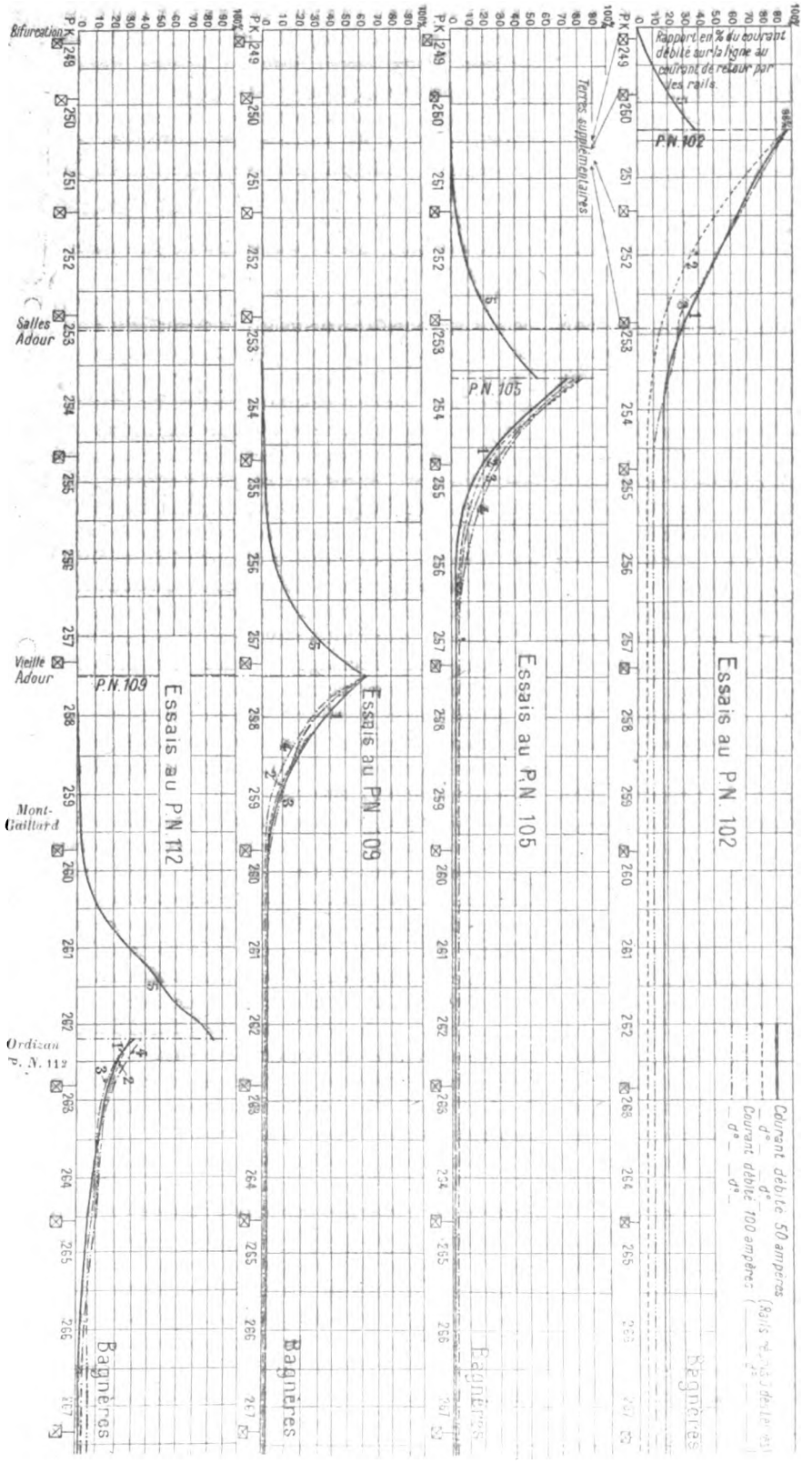


Fig. 8. — Essais de retour du courant par les rails.

pondantes ont permis de construire des courbes analogues à celles obtenues pour le P. N. 112. Ces courbes sont toutes représentées sur la figure 8 sauf celle relative au P. N. 102 avec débit de 100 A, et terres supplémentaires supprimées, qui n'a pu être entièrement relevée et pour laquelle on n'a pas jugé utile de prolonger la durée des expériences.

Interprétation et discussion. — Ces courbes montrent, tout d'abord, que l'on ne constate une proportion importante du courant de retour dans les rails, qu'au voisinage immédiat du train. Par raison de symétrie, il en est de même au voisinage de la sous-station, car l'automotrice et la sous-station jouent évidemment un rôle analogue. Celle-ci puise les filets de courant dans les rails et par ceux-ci dans la terre avoisinante, alors que l'automotrice paraît refouler les filets de courant dans les rails d'abord et par ceux-ci dans le sol. Les essais effectués sur la section Lourdes-Pierrefitte et que nous relatons plus loin, justifient d'ailleurs cette manière de voir.

Au sortir de l'automotrice, le courant de retour se divise en quelque sorte en une multitude de filets de courant dont une partie circule dans les rails en avant du locomoteur (vers Bagnères) et l'autre en arrière du locomoteur. Nous dirons toujours dans les développements qui vont suivre, que la partie de voie « en avant » de l'automotrice est celle placée entre elle et Bagnères, que l'automotrice s'éloigne ou qu'elle se rapproche du P. K. 249.000. Il est à remarquer que tout se passe pour la circulation du train d'essai comme si au P. K. 249.000, existait une sous-station alimentant

Essais aux P. N. 102 (P. K. 250.346); 105 (P. K. 253.590) et 109 (P. K. 257.503). — Les lectures corres-

Digitized by Google

directement la caténaire et recevant le courant de retour.

Les filets de courant se dirigeant vers l'avant du train s'écoulent peu à peu des rails au sol, de telle sorte qu'à une distance L_{av} en avant du train, il ne reste plus de courant d'intensité appréciable dans les rails.

Tous ces filets de courant constituent une fraction C_{av} du courant de retour qui s'est écoulée dans le sol « en avant » du train pour revenir à la sous-station en rentrant forcément de nouveau dans les rails aux abords de cette sous-station. Il est à remarquer que cette fraction C_{av} est d'autant plus importante que l'automotrice est plus éloignée de la sous-station.

Les filets de courant s'écoulant à l'arrière du tracteur constituent une fraction C_{ar} du courant de retour, qui se partage à son tour, en deux parties l'une C^s_{ar} qui s'écoule totalement au sol par les rails placés en arrière de l'automotrice sur une longueur L_{ar} de voie, l'autre C^r_{ar} qui revient à la sous-station sans jamais abandonner les rails de roulement.

La fraction C^s_{ar} qui s'est écoulée des rails dans le sol sur la longueur L_{ar} rentre à la sous-station en passant de nouveau dans les rails, mais seulement au voisinage immédiat de la sous-station.

Le retour dans les rails, aux abords de la sous-station, de la fraction $C_{av} + C^s_{ar}$ du courant de retour ayant circulé dans le sol, s'effectue partie en avant (S_{av}), partie en arrière (S_{ar}) de la sous-station, respectivement sur les longueurs de voie T_{av} et T_{ar}.

Les erreurs de lecture, le défaut de concordance absolue entre les divers observateurs, les divergences accusées par les appareils de mesure et la répartition sur plusieurs nuits des expériences effectuées, suffisent à expliquer les quelques résultats singuliers accusés par nos courbes. Il est évident que l'on ne saurait avoir pratiquement *au même instant* 77 pour 100 du courant de retour dans les rails en avant du train électrique, et 56 pour 100 de ce courant dans les rails en arrière du train, comme semblent l'indiquer les courbes 1 et 5 pour le P. N. 105 par exemple.

De même au P. N. 102 on ne saurait avoir 98 pour 100 du courant de retour en arrière du train, alors que l'on constate 33 pour 100 de courant dans les rails en avant du train.

Nous estimons cependant que les résultats obtenus présentent une approximation suffisante pour permettre d'en tirer les conclusions pratiques qui faisaient l'objet de nos recherches.

Si le train électrique et la sous-station qui l'alimente se trouvaient placés tous deux dans un milieu homogène ou tout au moins dans des conditions sensiblement identiques, tout se passerait identiquement aux abords du train et de la sous-station.

Ces conditions seraient approximativement remplies si :

1° Le train et la sous-station étaient en pleine voie également éloignés de gares possédant un important faisceau de voies ;

2° Toute la ligne intéressée était placée sur un terrain de composition homogène ;

3° Et, par suite, si la résistance de contact rails-sol était uniformément répartie tout le long de la ligne.

Dans ce cas on pourrait écrire :

$$(3)\quad \left| \begin{array}{l} T_{av} = L_{ar} \\ T_{ar} = L_{av} \end{array} \right| \qquad (4)\quad \left| \begin{array}{l} C_{av} = S_{ar} \\ C^s_{ar} = S_{av} \end{array} \right|.$$

En réalité, les conditions ci-dessus ne se présentent jamais d'une façon aussi parfaite. Les zones de rentrée et de sortie du courant ne sont pas aussi nettement limitées que nous l'avons supposé, et il se produit des déperditions de courant des rails au sol et des retours du sol aux rails, sur de très grandes longueurs de voie. Les résultats obtenus montrent cependant que l'on peut déterminer des longueurs de rails T_{av}, T_{ar}, L_{av}, L_{ar} au delà desquelles on peut considérer comme négligeables les passages de courant des rails au sol et inversement.

Ces longueurs T_{av}, T_{ar}, L_{av}, L_{ar} des zones efficaces d'échange de courant entre les rails et le sol peuvent varier avec les conditions d'établissement des lignes, l'intensité du courant de traction, etc. La connaissance de leur valeur approximative suffit pour en tirer des conclusions intéressantes.

Sur la ligne de Bagnères, les longueurs L_{av}, L_{ar} sont comprises entre 2 et 3 km.

a) *Influence des terres supplémentaires.* — Pour la majorité de nos observations, l'influence des terres supplémentaires n'a pas été bien sensible.

Cette influence aurait peut-être été plus nettement accusée si l'on avait pris soin d'enlever toutes les connexions des pylônes aux rails, en même temps que l'on supprimait les terres supplémentaires.

Cependant, les mesures faites au P. N. 102 avec une intensité de 50 A ont montré que les intensités de courant mesurées dans les rails, ceux-ci étant reliés aux terres supplémentaires, étaient de 50 pour 100 plus faibles que celles trouvées lorsque les rails n'étaient pas reliés aux terres supplémentaires, à partir du moment où le train était éloigné du poste de mesure, de plus d'un kilomètre.

Cette réduction s'explique si l'on remarque que le P. N. 102 situé au P. K. 250.346, soit à 1 346 m de la sous-station supposée au P. K. 249, est compris dans la zone T_{av} de rentrée du courant dans les rails, en avant de la sous-station, quelle que soit la position du train électrique.

L'addition des deux terres supplémentaires relativement peu résistantes, celle du P. K. 249.100 et celle du P. K. 249.800, a dû favoriser la rentrée dans les rails compris entre la sous-station et le P. N. 102 des filets de courant circulant dans le sol avoisinant, en diminuant, par suite, l'intensité du courant dont le passage dans les rails était noté au P. N. 102. Les terres supplémentaires placées au delà du P. N. 102 vers Bagnères ne pouvaient intervenir efficacement, n'étant pas situées dans la zone T_{av} de la sous-station.

Les autres résultats montrent la diminution continue de l'influence des mises à la terre supplémentaires

Digitized by Google

au fur et à mesure de l'éloignement du train de la sous-station, même aux abords immédiats de la sous-station ou du train électrique.

b) *Influence de la distance du train à la sous-station d'alimentation.* — Pour un débit déterminé dans la ligne caténaire, le rapport P de l'intensité du courant passant dans les rails aux points de la voie compris entre la sous-station et le train électrique *en dehors des zones efficaces des échanges de courant entre les rails et le sol*, à l'intensité du courant circulant dans la ligne de contact, reste constant, et très faible d'ailleurs, quel que soit l'éloignement du train de la sous-station.

Ce rapport P est au contraire très variable pour les points de la voie situés dans l'une des zones L_{av}, L_{ar}, T_{av}, T_{ar}. Il augmente lorsque, pour une position donnée du train, le poste de mesure est plus rapproché, soit de la sous-station, soit du train électrique.

Pour une même intensité dans la ligne aérienne, lorsque le train est encore peu éloigné de la sous-station, le maximum P_i des rapports mesurés à l'arrière du train (zone L_{ar}) est beaucoup plus élevé que le maximum P_e des rapports mesurés en avant du train (zone L_{av}). Ces deux maxima, en raison de ce que nous venons de dire ci-dessus, correspondent d'ailleurs respectivement aux points immédiatement en arrière et immédiatement en avant du train.

Toujours pour un débit déterminé dans la caténaire, lorsque le train s'éloigne de la sous-station, P_i diminue et P_e augmente. Le rapport P_e finit par égaler P_i, puis lui devient supérieur, le train continuant à s'éloigner.

L'augmentation de la fraction du courant de retour circulant dans les rails, en avant du train, pour s'échapper dans le sol, paraît normale tout au moins jusqu'au moment où P_e égale P_i. La proximité de la rivière Adour, qui coule à peu près parallèlement à la voie ferrée, est évidemment une des causes favorisant le passage dans le sol du courant de retour et elle fait sentir son influence sur toute la longueur de la ligne, comme les autres causes. Il est compréhensible également que la résistance de contact rails-sol est assez faible pour que les circuits dérivés par le sol et suivis par les filets de courant présentent une résistance de plus en plus faible par rapport à celle des rails compris entre le train et la sous-station.

Il semble donc qu'au bout d'un certain parcours du train électrique, le courant issu des électromoteurs doive effectivement s'échapper en parties égales à l'avant et à l'arrière du train.

Mais, en supposant que la résistance opposée par les rails seuls devienne assez grande, relativement, pour que l'on puisse admettre que tout le courant de retour s'écoule au sol, après un certain parcours dans les rails, en avant et en arrière du train, nous nous expliquons difficilement que P_e continue à augmenter après avoir égalé P et que P_i continue à décroître.

Le faisceau des voies de la gare de Bagnères-de-Bigorre, terminus de l'embranchement considéré ici, ne peut favoriser l'afflux de courant dans les rails en avant du train électrique pour lui permettre de s'écouler dans la terre par les multiples points de contact qu'il réalise avec le sol, que si le train est à une distance de cette gare inférieure à L_{av}.

Toute influence s'exerçant vers l'extrémité de la ligne, comme la traversée de la voie ferrée à Bagnères par la rivière Adour, s'accuserait d'ailleurs par la mesure d'une certaine intensité de courant dans les rails en avant du train, au delà de la distance L_{av}. Des recherches approfondies, pour lesquelles le temps matériel nous a fait défaut, seraient intéressantes à poursuivre pour étudier les causes réelles de la persistance de l'augmentation de P_e et de la diminution de P_i au fur et à mesure de l'éloignement du train.

Il est intéressant de remarquer que l'alimentation des locomoteurs électriques par la ligne caténaire avec retour du courant par les rails constitue un transport d'énergie à distance variable par deux conducteurs dont l'un est « en contact » avec le sol.

Un tel transport se rapproche beaucoup, au moins dans le cas de la ligne de Bagnères dont les files de rails sont mauvaises conductrices et fréquemment réunies à des prises de terre, de celui qui serait réalisé par une ligne à haute tension comportant un conducteur isolé et dont le retour s'effectuerait par le sol.

La résistance du conducteur de retour est, dans ce cas, entièrement localisée dans les prises de terre constituées aux extrémités de la ligne de transport et leurs abords. Ceci signifie que la chute de tension, entre la prise de terre extrémité de ligne et la prise de terre origine de ligne se réalise aux abords immédiats des prises de terre Il en résulte que, si l'on traçait sur le sol les courbes équipotentielles correspondant à cette chute de tension de volt en volt, toutes ces courbes se répartiraient en deux groupes : un autour de chacune des prises de terre. Dans chaque groupe, ces courbes seraient d'ailleurs extrêmement rapprochées les unes des autres au voisinage de la prise de terre correspondante. L'intervalle de l'une à l'autre augmentant de plus en plus au fur et à mesure de l'éloignement des courbes consécutives considérées, de la terre correspondante.

Il existe une courbe extrême dans chaque groupe, telle que la chute de tension d'un point quelconque de cette courbe à un point quelconque de la courbe extrême de l'autre groupe, soit de 1 v.

Pour une ligne de transport d'une longueur supérieure à une dizaine de kilomètres, tous les points de la courbe extrême de l'un de ces groupes seraient éloignés de tous les points extrêmes appartenant à l'autre groupe, de plusieurs kilomètres.

Chacune de ces courbes extrêmes limite donc une zone de terrain dans laquelle se réalise à peu près complètement la moitié de la chute totale de tension du conducteur de retour (terres et sol). Chacune de ces zones est relativement peu étendue autour de la prise de terre correspondante (1), alors qu'une distance supérieure à

(1) Voir les expériences faites en octobre 1903 par MM. E. Harlé, Pionchon, Barbillon, à Lancey (Isère).

Digitized by Google

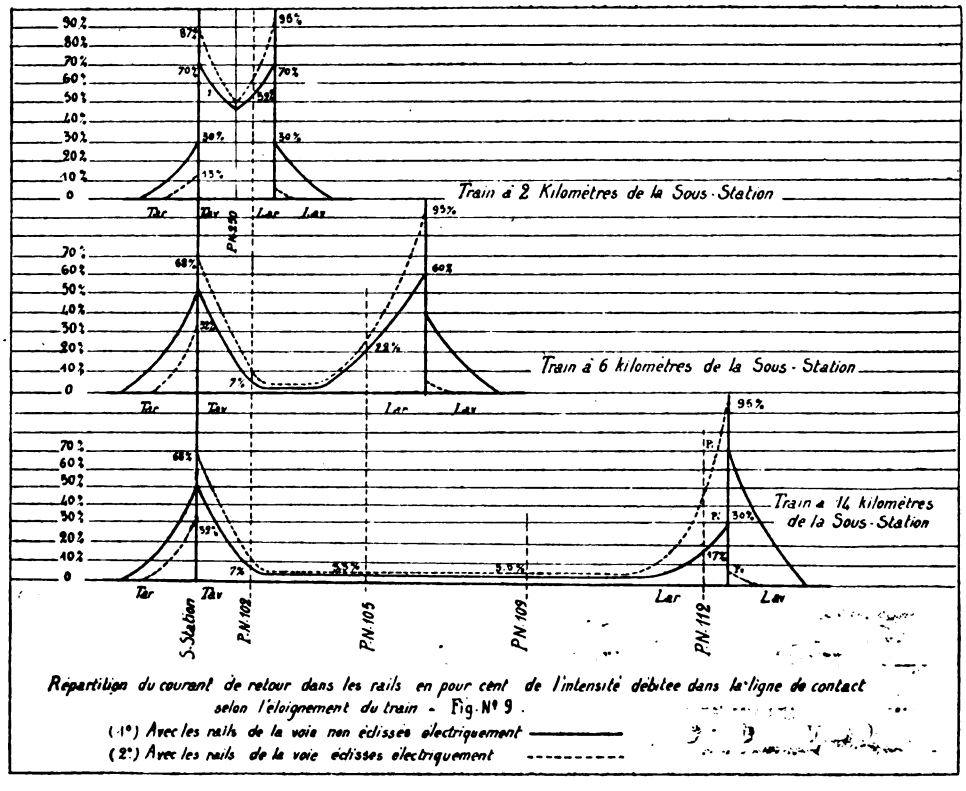
quelques kilomètres sépare les deux zones entre leurs points les plus rapprochés.

Des vallées, des montagnes, les couches du sous-sol peuvent modifier plus ou moins le contour de ces zones et rapprocher les zones dans certaines régions. Dans des terrains absolument homogènes, chacune de ces zones est un cercle ayant pour centre l'extrémité de ligne correspondante.

La liaison par une voie ferrée en contact avec le sol, des deux prises de terre, de la ligne de transport considérée ci-dessus, ne peut que déformer la configuration des zones envisagées plus haut, en raison de la structure nouvelle des prises de terre (allongées par les rails) et de l'addition des rails au conducteur de retour.

Les points d'intersection des courbes équipotentielles et des rails seront donc très rapprochés vers les extrémités de la ligne de transport, ce qui revient à dire que la chute de tension le long des rails sera rapide sur un faible nombre de kilomètres de voie, à l'amont et à l'aval du train, ainsi qu'à l'amont et à l'aval de la sous-station d'alimentation. La chute de tension sera au contraire très lente vers le milieu de la ligne de transport d'énergie, c'est-à-dire de l'intervalle train-sous-station.

Cette répartition de la chute de tension dans les rails correspond à la répartition de l'intensité du courant de retour telle qu'elle se déduit de nos expériences. Elle



Répartition du courant de retour dans les rails en pour cent de l'intensité débitée dans la ligne de contact selon l'éloignement du train - Fig. N° 9.

(1°) Avec les rails de la voie non éclissés électriquement ———

(2°) Avec les rails de la voie éclissés électriquement ----------

pouvait, dans une certaine mesure, faire prévoir les résultats de ces expériences.

c) *Influence de l'intensité débitée dans la caténaire.* — Le pourcentage du courant de retour circulant dans les rails n'a pas paru sensiblement influencé par une augmentation de débit dans la ligne de contact, notamment en dehors des zones efficaces des échanges de courant entre rails et sol.

d) *Influence de la multiplication des sous-stations d'alimentation.* — En tenant compte des résultats indiqués par les courbes de la figure 8, nous pouvons tracer avec une approximation suffisante la courbe de répartition du courant de retour dans les rails pour chacune des positions du train électrique par rapport à la sous-station d'alimentation. Nous avons tracé en traits pleins (fig. 9) les courbes correspondant au moment où le train est :

1° Au P. K. 251, à 2 km de la sous-station ;

2° Au P. K. 255, à 6 km de la sous-station ;

3° Au P. K. 263, à 14 km de la sous-station.

L'examen de ces courbes de répartition nous permet de formuler la proposition suivante, qu'il était d'ailleurs facile de prévoir à priori :

La proportion du courant de retour restant dans les rails est d'autant plus grande que les sous-stations d'alimentation sont plus rapprochées, c'est-à-dire que leur nombre est plus grand sur une ligne de longueur donnée.

La courbe n° 1 se rapportant à un débit dans la caténaire de 50 A, les terres connectées aux rails, nous

Digitized by Google

montre qu'en tout point de la voie compris entre le train et la sous-station, il passe au moins 45 pour 100 du courant de retour dans les rails.

Si donc une deuxième sous-station était placée au P. K. 253, nous mesurerions toujours dans les rails une proportion du courant de retour supérieure à 45 pour 100 en tout point de la voie compris entre cette deuxième sous-station et le train lorsque celui-ci circulerait entre le P. K. 249 et le P. K. 255.

Avec une sous-station placée tous les 4 km, sur la ligne de Tarbes à Bagnères, les trains électriques ne seraient jamais à plus de 2 km de la sous-station les alimentant. Dans ces conditions, l'intensité du courant de retour dans les rails entre train et sous-station serait toujours supérieure à 45 pour 100 de celle débitée dans la caténaire, car l'observateur chargé de mesurer cette intensité se trouverait toujours dans la partie de l'une des zones T_{av}, L_{ar} où le pourcentage P dépasse 45 pour 100.

IV. — Expériences sur la ligne Lourdes-Pierrefitte. — *a*) RÉPARTITION DU COURANT DANS LES RAILS ENTRE LE TRAIN ET LA SOUS-STATION. — Dans une première série d'expériences, on a cherché à déterminer la répartition du courant dans l'intervalle compris entre la sous-station d'alimentation et le train électrique.

A cet effet, au P. K. 192 la ligne de contact recevait 30 A environ par un feeder l'alimentant en courant alternatif monophasé 16 2/3 p : s (fig. 10, schéma).

Au P. K. 186 la ligne de contact était reliée directe-

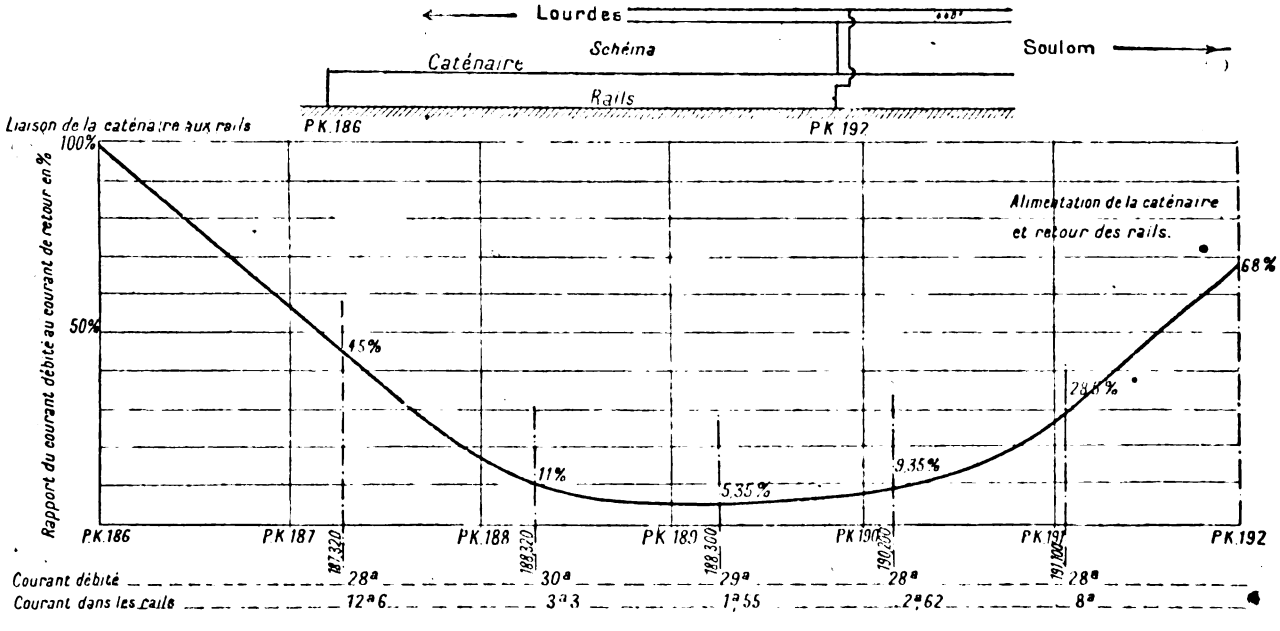


Fig. 10. — Répartition du courant de retour dans les rails éclissés électriquement (ligne de Lourdes à Pierrefitte).

ment aux deux files de rails par une connexion sans self-induction ni résistance appréciables.

Un deuxième feeder dit « de retour », réuni aux rails au P. K. 192, ramenait les 30 A débités à la borne basse tension de la sous-station de Lourdes.

Des opérateurs répartis sur la voie observaient l'intensité de courant circulant dans les rails aux points où ils se trouvaient à des heures déterminées. A ces mêmes heures l'intensité du courant débité dans la caténaire était relevée à la sous-station de Lourdes. En portant en abscisses les distances sur la voie et en ordonnées le pourcentage de l'intensité trouvée dans les rails par rapport à l'intensité débitée dans la ligne de contact, on a obtenu la courbe de répartition de l'intensité du courant dans les rails (fig. 10).

De fortes proportions du courant de retour dans les rails constatées au voisinage des P. K. 186 et 192 s'expliquent d'après ce que nous avons vu sur la ligne de Bagnères en raison de la distance relativement faible séparant le train fictif (P. K. 186) de la sous-station fictive (P. K. 192).

Vers le milieu de la section de voie soumise aux expériences la proportion de courant circulant sur 1 km de rails environ n'est que de 5,35 pour 100.

Les longueurs des zones de passage du courant des rails au sol et inversement, L_{ar} et T_{av}, sont ici d'environ 2,500 km. La comparaison de la courbe de répartition de la figure 10 avec la courbe n° 2 de la figure 9 permet de formuler les constatations suivantes :

En dehors des zones L_{ar} et T_{av} l'éclissage électrique existant entre les P. K 186 et 192 a élevé la valeur du rapport P de 3,3 pour 100 à 5,3 seulement.

Dans les zones L_{ar} et T_{av} l'éclissage électrique a eu un effet très sensible. Il a d'abord fait augmenter légèrement la longueur de ces zones en maintenant plus longtemps le courant dans les rails. Il a entraîné une dimi-

Digitized by Google

nution de la proportion du courant de retour dans les rails dans chacune des zones L_{av} et T_{ar}, cette diminution étant d'ailleurs plus accentuée dans la zone L_{av} que dans la zone T_{ar}. L'éclissage semble donc réduire de beaucoup la fraction de courant qui tend à s'écouler vers le sol *en avant* du train.

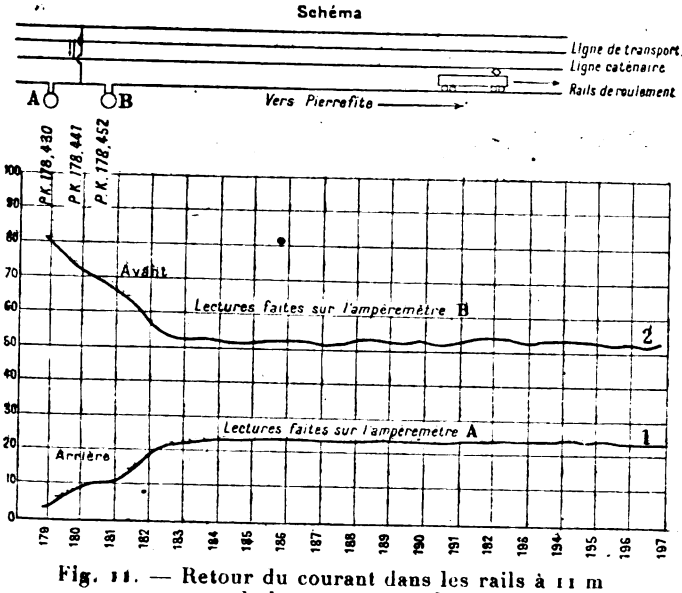


Fig. 11. — Retour du courant dans les rails à 11 m de la sous-station.

Les courbes de répartition tracées (fig. 9) en traits pleins pour une voie sans éclissage électrique, et en pointillé pour une voie avec éclissage électrique, font nettement ressortir les conclusions ci-dessus.

b) Rentrée du courant a la sous-station d'alimentation. — Il était intéressant d'examiner comment s'opérait la répartition du courant dans les rails à l'avant et à l'arrière de la sous-station d'alimentation.

Dans ce but, après avoir soigneusement revisé de nouveau l'éclissage électrique des rails sur la ligne Lourdes-Pierrefitte, il fut procédé aux expériences suivantes :

La ligne de contact de la section Lourdes à Pierrefitte était alimentée au P. K. 178.441 par l'usine de Soulom, en courant alternatif monophasé (16 périodes 2/3) à l'aide d'un feeder. Les rails de roulement étaient au même P. K. 178.441 réunis à un deuxième feeder ramenant à Soulom le courant de retour.

Une automotrice, dont l'archet frottait contre la ligne de contact, était remorquée par une locomotive à vapeur, entre le P. K. 178.441 et la gare de Pierrefitte, située au P. K. 197.200. Comme pour les essais effectués sur la ligne de Bagnères, lorsque le disjoncteur de cette automotrice était fermé, l'archet et les roues étaient reliés de façon à court-circuiter la ligne de contact aux rails de roulement aux points successivement atteints par le convoi : locomotive à vapeur automotrice.

La tension était réglée au départ de l'usine de Soulom pour maintenir un débit, à peu près constant, de 100 A dans la ligne de contact, quelle que soit la position du convoi.

Première série de mesures. — Aux joints placés au P. K. 178.430 et 178.452 étaient intercalés des ampèremètres destinés à mesurer l'intensité du courant circulant dans les rails, 11 m à l'avant et 11 m à l'arrière de la sous-station fictive du P. K. 178.441.

Les lectures des intensités et le relevé de la position de l'automotrice étaient effectués dans des conditions analogues à celles déjà décrites pour les expériences faites sur l'embranchement de Bagnères.

Les ordonnées des courbes 1 et 2 (fig. 11) donnent les intensités trouvées selon la position de l'automotrice sur la voie.

Deuxième série de mesures. — Lors du retour de l'automotrice de Pierrefitte vers Lourdes, les ampèremètres avaient été intercalés respectivement aux P. K. 178.386 et 178.496 soit à 55 m de part et d'autre de la sous-station fictive, aux joints correspondants.

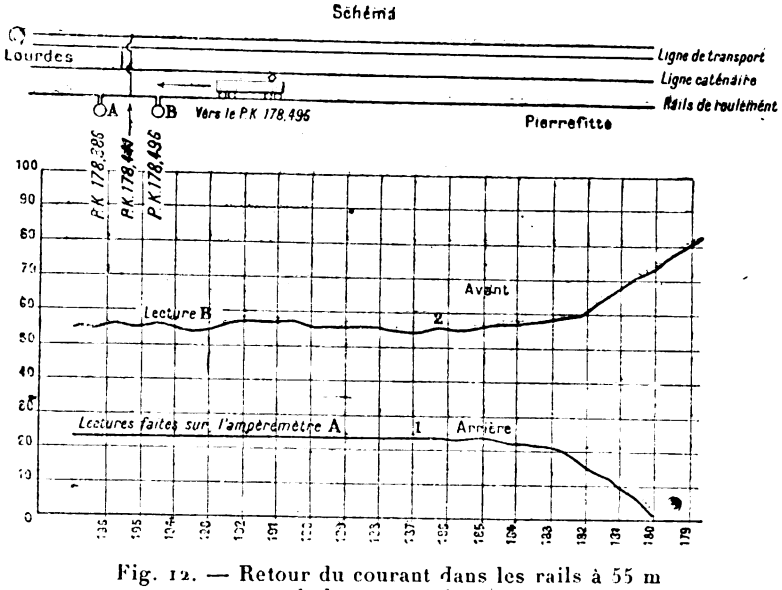


Fig. 12. — Retour du courant dans les rails à 55 m de la sous-station.

Les courbes 1 et 2 de la figure 12 indiquent les résultats obtenus dans cette nouvelle série de lectures.

Discussion. — La première série de mesures montre

Digitized by Google

que lorsque l'automotrice est très voisine de la sous-station, la proportion P_{ar} de courant rentrant dans les rails *en arrière de la sous-station* est très faible. Cette proportion croît au fur et à mesure de l'éloignement de l'automotrice, pour atteindre une valeur maximum de 24 pour 100 environ, dès que l'automotrice est à 5 km de la sous-station. Cette proportion conserve ensuite cette valeur maximum lorsque l'automotrice continue à s'éloigner.

La proportion P_{av} de courant rentrant *en avant de la sous-station*, très forte d'abord, diminue lorsque l'automotrice s'éloigne et atteint une valeur minimum de 58 pour 100 environ pour la même distance que ci-dessus (5 km), valeur qu'elle conserve ensuite quel que soit l'éloignement de l'automotrice.

C'est au fait qu'une partie du courant de retour entre dans les rails entre les deux joints où sont placés les ampèremètres que l'on doit de n'avoir pour la somme $P_{ar} + P_{av}$ qu'une valeur de 82 pour 100 de l'intensité du courant débité dans la caténaire au lieu de 100 pour 100.

La deuxième série de lectures donne des résultats semblables. Les proportions constantes atteintes lorsque le train est suffisamment éloigné sont alors :

$$P_{ar} = 22{,}5 \text{ pour } 100, \qquad P_{av} = 55{,}5 \text{ pour } 100,$$

ce qui donne

$$P_{ar} + P_{av} = 78 \text{ pour } 100.$$

La fraction du courant qui rentre sur les 110 m de voie séparant ici les deux ampèremètres, doit évidemment être plus importante que celle qui rentrait dans les 22 m de voie, lors du premier essai.

Ce qui différencie surtout les résultats obtenus dans ces expériences de ceux obtenus sur la ligne de Tarbes à Bagnères, c'est que les rapports P_{ar} et P_{av} atteignent des valeurs constantes et que P_{ar} reste toujours inférieur à P_{av}.

L'éclissage électrique soigneusement revu aux abords du P. K. 178.441 ayant augmenté fortement la proportion de courant circulant dans les rails, dans les zones L_{ar} et T_{av}, il en devait résulter évidemment une diminution correspondante de la proportion de courant dans les zones L_{ar} et T_{av}.

Pour expliquer pourquoi les rapports P_{av} et P_{ar} conservent des valeurs constantes dès que le train s'est éloigné de plus de 5 km de la sous-station, de nouvelles expériences seront sans doute nécessaires.

L'éclissage électrique des joints permet de maintenir dans les rails un pourcentage donné du courant de retour, sans rapprocher les sous-stations d'alimentation aussi près les unes des autres que sur une voie non éclissée électriquement.

Ainsi, en plaçant une sous-station tous les 6 km environ, nous pourrons mesurer en tous les points de la voie une intensité du courant de retour, circulant dans les rails éclissés électriquement, supérieure à 45 pour 100 de l'intensité débitée dans la caténaire, alors que, sur l'embranchement de Bagnères, les sous-stations devraient être réparties tous les 4 km environ pour obtenir le même résultat.

III. — Utilité de l'éclissage électrique des rails de roulement.

La courbe de répartition du courant dans les rails sur l'embranchement de Bagnères, pour un train éloigné de 14 km de la sous-station (fig. 9), montre que, sur près de 10 km, le courant de retour est presque entièrement dans le sol : 3,3 pour 100 seulement des ampères débités dans la caténaire circulent dans les rails sur la plus grande longueur du parallélisme existant avec les lignes à courants faibles placées sur la voie.

La courbe de répartition pour un trajet de même longueur avec rails éclissés électriquement montre que, sur la plus grande partie de la section, 5,3 pour 100 seulement des ampères débités dans la caténaire circulent dans les rails. Cette courbe est représentée en traits interrompus sur la même figure.

Il semble résulter du rapprochement de ces deux courbes de répartition que l'éclissage électrique des joints ne paraît pas avoir une grande importance, même en s'assurant du maintien en bon état de cet éclissage, dans le cas de la traction par courant alternatif monophasé à haute tension. En effet, l'adoption de ce système de traction électrique est généralement dictée par la possibilité d'installer des sous-stations d'alimentation à des distances relativement grandes les unes des autres. C'est ainsi qu'elles sont séparées entre elles par des distances de 20 à 50 km sur les lignes actuellement électrifiées de la Compagnie du Midi.

Il doit en résulter que, pendant la majeure partie de son parcours, et, par suite, pendant la majeure partie de la durée des perturbations causées par sa marche sur les transmissions télégraphiques et téléphoniques voisines, un train électrique se trouve à une distance de cette sous-station, supérieure à la somme des longueurs $L_{ar} + T_{av}$.

Dans ces conditions, la répartition du courant de retour s'effectue comme nous venons de le rappeler ci-dessus et la valeur du facteur K intervenant dans la formule (1) ci-dessous :

$$(1) \qquad e = 4{,}6 \times 10^{-4} \left[K \log \frac{r_2}{r_1} + (1 - K) \log \frac{r_2 + d}{r_1} \right] \times L \omega I,$$

ne peut qu'être très faible, pendant la majeure partie de la durée de la circulation des trains électriques, même si les rails de roulement sont éclissés soigneusement.

Cette faible valeur de K contribue à l'élévation de la force électromotrice perturbatrice e; toutes choses restant égales par ailleurs.

Digitized by Google

I. — **Rapprochement des sous-stations d'alimentation.** — Il est visible que si l'on rapproche les sous-stations de telle sorte que chacune d'elles assure seulement l'alimentation de la ligne de contact sur 4 ou 5 km à leur amont et à leur aval, nous serons toujours placés dans le cas où le train et la sous-station qui l'alimente sont éloignés à moins de $L_{ar} + T_{av}$.

Dans ces conditions, la réalisation de l'éclissage, en diminuant l'importance de la dérivation du courant par le sol, augmente la valeur du facteur K déjà augmentée par le rapprochement même du train des sous-stations. Comme, d'autre part, le rapprochement des sous-stations a diminué également le facteur L, il en résulte que la valeur de la force électromotrice e induite sur un fil témoin parallèle à la voie ferrée pourra être considérablement diminuée.

La Compagnie du Midi a fait procéder à des expériences sur la ligne Tarbes-Lourdes pour déterminer l'importance de cette diminution.

Sur la section électrifiée de 20 km de longueur environ, comprise entre les gares de Tarbes et Lourdes, sont situées une sous-station d'alimentation à Tarbes et une autre à Lourdes.

Les trains électriques mis en marche au cours de ces expériences circulaient de Tarbes à Ossun. Ils étaient conduits de façon à absorber autant que possible le même nombre d'ampères à la tension de 12 000 v durant tout leur parcours, en dehors des périodes de démarrage bien entendu.

Les résultats que l'on aurait obtenus sur la deuxième partie Ossun-Lourdes de la section d'essai peuvent se déduire très facilement de ceux obtenus sur la première partie.

Pendant le parcours des trains, on relevait la tension électromagnétique induite sur un fil télégraphique témoin parallèle à la voie ferrée et reliant les bureaux des P. T. T. de Tarbes et de Lourdes.

a) Dans une première série d'expériences, le train électrique recevait le courant de la caténaire alimentée seulement par la sous-station de Lourdes et au droit de cette sous-station. Il en résultait que, au démarrage du train partant de Tarbes, le courant monophasé suivait la caténaire sur les 20 km séparant Lourdes de Tarbes et rentrait à la sous-station de Lourdes en partie par les rails de roulement, en partie par le sol.

La force électromotrice induite était donc maximum au moment de ce démarrage et diminuait au fur et à mesure de l'avancement du train. Lors des arrêts du train en gare de Juillan et d'Ossun, cette force électromotrice s'annulait. La courbe 1 de la figure 13 représente les variations de cette force électromotrice.

b) Dans une deuxième série d'expériences, une sous-station d'alimentation à 12000 v avait été installée à titre provisoire en gare d'Ossun. Elle était chargée d'alimenter la caténaire de Juillan à Adé, alors que la sous-station de Tarbes était chargée d'alimenter la section de caténaire Tarbes-Juillan.

A Juillan, la caténaire avait été interrompue par un sectionnement isolé pour séparer les parties alimentées par des sous-stations différentes.

La gare de Juillan étant à environ 5,200 km de la sous-station de Tarbes et à 4,400 km seulement de la sous-station d'Ossun, chacune de ces sous-stations avait à alimenter sur 5 km environ le train d'essai Tarbes-Ossun.

La courbe 3 de la figure 13 représente les variations de la tension induite dans le fil télégraphique témoin au fur et à mesure de l'avancement du train. Cette tension part de la valeur o au passage du train devant la sous-station de Tarbes pour atteindre 18 v à l'arrivée du train à Juillan.

Le démarrage du train à Juillan, absorbant le courant fourni par la sous-station placée à 4,400 km seulement (alors que la sous-station de Tarbes était à 5,200 km), induisait dans le fil témoin une tension voisine de 18 v également. Dès que les afflux brusques et importants de courant dus au démarrage étaient terminés, la force électromotrice induite retombait à près de 10 v pour diminuer ensuite régulièrement et s'annuler à l'arrivée à Ossun.

Il résulte des mesures ci-dessus rapportées, que l'installation de sous-stations permettant d'alimenter un train électrique à une distance maximum de 5,200 km au lieu de 20 km a permis de réduire la force électromotrice induite sur le fil témoin voisin dans le rapport de 132 v à 18 v.

L'application de la formule (1) montre que la seule réduction du facteur L de 20 km à 5,200 km n'aurait pu abaisser la tension électromagnétique induite que de 132 à $\frac{132 \times 5,2}{20} = 34$ v seulement.

L'abaissement plus important constaté est dû à l'augmentation du facteur K, due elle-même au fait que la déperdition du courant de retour dans le sol est beaucoup moindre lorsque le parcours à imposer dans les rails au courant de retour est inférieur à la somme des longueurs $L_{av} + T_{ar}$.

Nous devons rappeler d'ailleurs que les joints des rails de roulement ne comportaient pas d'éclissage électrique entre Tarbes et Lourdes.

II. — **Alimentation par feeders.** — Le rapprochement des sous-stations d'alimentation n'est pas indiqué lorsqu'on fait choix du courant alternatif monophasé à haute tension pour la traction électrique. Mais sur certaines lignes où l'on n'a pas installé de sous-stations rapprochées, il est possible d'alimenter la ligne de contact par sections séparées, de quelques kilomètres de longueur seulement, sans augmenter le nombre des sous-stations.

Les installations de la Compagnie du Midi entre Tarbes et Lourdes comportent quatre feeders en aluminium constituant une double ligne de transport d'énergie à 60000 v destinée à transporter le courant primaire dans les sous-stations.

En utilisant deux de ces câbles, seulement pour le transport du courant à 60000 v, il a été possible de

Digitized by Google

réaliser l'alimentation de la caténaire Tarbes-Lourdes, par la seule sous-station de Lourdes, après avoir fractionné cette caténaire en quatre sections de chacune 5 km de longueur environ.

A cet effet, l'un des deux câbles disponibles était utilisé pour le transport du courant à 12 000 v de Lourdes au milieu des sections de caténaire ci-dessus. L'autre câble connecté aux rails de la voie assurait le retour du

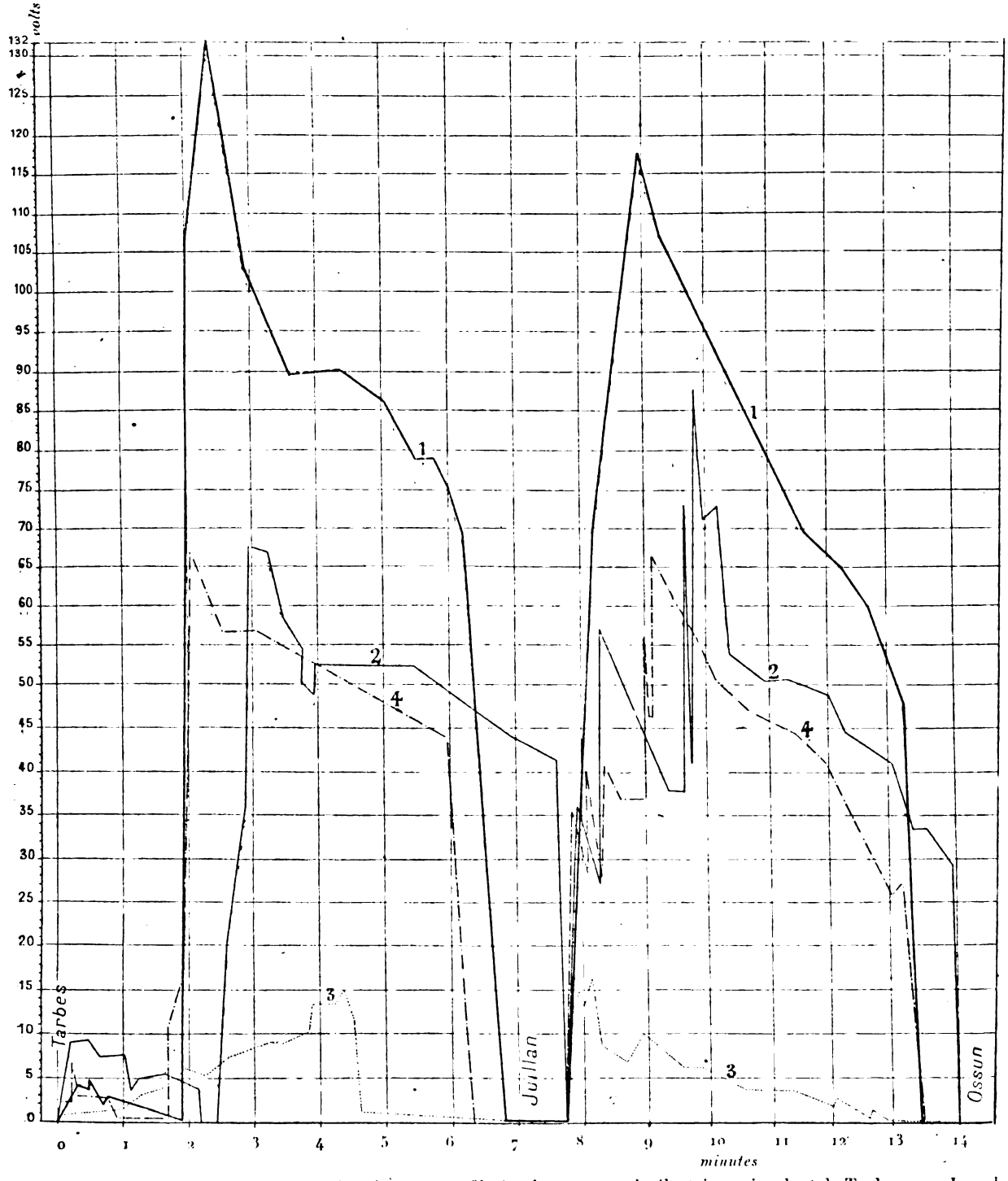


Fig. 13. — Tensions électromagnétiques induites sur un fil témoin par un train électrique circulant de Tarbes vers Lourdes.

Courbe 1, alimentation par bout de ligne à 30 km.
Courbe 2, Id. par deux feeders.
Courbe 3, Id. par sous-stations réparties tous les 10 km.
Courbe 4. Id. par un feeder d'aller.

Digitized by Google

courant à la sous-station de Lourdes. Les connexions correspondantes des deux câbles ou feeders ci-dessus à la caténaire et aux rails étaient réalisées aux mêmes points kilométriques.

Dans ces conditions, le train d'essai déjà utilisé précédemment circulant entre Tarbes et Ossun ne se trouvait jamais à plus de 2,6 km environ des connexions de la caténaire et des rails aux deux feeders correspondant à la section parcourue par lui. Par suite, le courant de retour n'ayant que 2,6 km à parcourir au maximum dans le conducteur complexe rails-sol restait en grande partie dans les rails, ce qui correspondait à une augmentation de L. La courbe n° 2 de la figure 13 montre les variations de la force électromotrice induite dans ces conditions, toujours dans le même fil témoin.

Cette force électromotrice conserve approximativement la même valeur lorsque le train est dans les deux sections Tarbes-Juillan, Juillan-Ossun. L'amélioration, par rapport au cas où l'alimentation de la caténaire s'effectuait seulement à Lourdes (courbe n° 1 de la figure 13), est représentée par un abaissement de la tension perturbatrice, à la moitié environ de sa valeur.

Cette amélioration paraît peu importante à première vue, même si l'on tient compte de l'influence perturbatrice réellement faible causée par le passage du courant dans les deux feeders. L'installation des feeders aurait dû, semble-t-il, ajouter encore à l'amélioration constatée lors de l'utilisation des trois sous-stations de Tarbes, Lourdes et Ossun ; car les distances d'alimentation étaient de longueur double dans ce dernier cas.

La faible valeur, relative, de cette amélioration, s'explique si l'on remarque que le courant de retour, issu des électromoteurs avançant dans les sections Tarbes-Juillan et Juillan-Ossun, s'échappait en grande partie dans le sol, et revenait à la sous-station de Lourdes, en rentrant dans le feeder de retour, par la connexion rails-feeder la plus voisine de Lourdes.

La courbe n° 4 de la figure n° 13 représente les variations de la force électromotrice induite dans le fil témoin lorsque le feeder de retour est supprimé, la borne de retour de la sous-station de Lourdes étant directement reliée aux rails de la voie en gare de Lourdes. L'examen de cette courbe montre que le feeder de retour utilisé précédemment n'introduisait pas d'amélioration sensible par lui-même.

D'après ce que nous avons vu précédemment, l'éclissage électrique des joints des rails ne saurait produire d'amélioration sensible, en raison de l'éloignement des points de sortie et de rentrée du courant de retour dans les rails, dans les deux cas ci-dessus d'utilisation de deux ou un seul feeder. Au contraire, l'éclissage électrique des joints des rails eût été certainement avantageux dans le cas du rapprochement des sous-stations à 10 km les unes des autres et surtout à moins de 10 km.

L'éclissage électrique des joints eût pu être cependant avantageux, dans le cas de l'alimentation par deux feeders, si les rails de roulement de deux sections consécutives avaient été séparés par des joints isolants, placés par conséquent aux mêmes points kilométriques que les sectionnements isolants de la caténaire, et en admettant que les rails de roulement soient bien isolés du sol.

Dans ce cas, en effet, l'installation eût fonctionné comme si, au milieu de chacune des sections, on avait installé une sous-station de transformation alimentant les trains électriques jusqu'à environ 2,500 km à l'amont et 2,500 km à l'aval. L'abaissement de la tension électromagnétique induite eût alors été plus importante encore que celle constatée lors de l'alimentation par les trois sous-stations de Tarbes, Ossun et Lourdes, de sections de 5 km, à l'amont et 5 km, à l'aval de chacune d'elles.

Nous avons d'ailleurs déjà vu que l'isolement des rails de roulement par rapport au sol n'était pas désirable, en raison du danger qu'il peut provoquer pour le personnel chargé de l'entretien des voies et qu'en outre, aux passages à niveau tout au moins, cet isolement serait difficile et coûteux à réaliser.

III. — **Utilisation des transformateurs-suceurs.** — Il est possible de n'imposer au courant de retour qu'un parcours relativement faible dans les rails de roulement et, en particulier, inférieur à la somme $T_{av} + L_{ar}$, sans modifier la répartition des sous-stations d'alimentation et sans alimenter la caténaire par sections séparées.

On sait que le fonctionnement des transformateurs-suceurs (1) peut se concevoir comme un appel du courant de retour, soit dans un feeder dit « de retour » isolé du sol et placé dans le voisinage de la caténaire, soit dans les rails.

Dans le premier cas, l'enroulement haute tension de chacun des transformateurs-suceurs est en série avec la ligne de contact et l'enroulement basse tension de ces transformateurs est en série avec le feeder isolé. Ce feeder est relié aux rails de la voie, au milieu des intervalles séparant deux transformateurs-suceurs successifs (schéma fig. 14).

Dans le second cas, l'enroulement basse tension de chacun des transformateurs-suceurs est placé en série sur la ligne de contact et l'enroulement basse tension en série sur les rails de roulement convenablement interrompus par des joints isolants (schéma fig. 15).

Il est intéressant d'examiner l'avantage offert par l'éclissage électrique des joints des rails de roulement, à côté de l'avantage déjà acquis par l'emploi des transformateurs-suceurs, montés comme il est dit ci-dessus.

a) Transformateurs-suceurs avec feeder isolé. — Sur la ligne de Perpignan à Villefranche-Vernet-les-Bains des transformateurs-suceurs ont été installés avec un feeder isolé et sont placés tous les 4 km dans la première moitié de la ligne, et tous les 3,5 km dans la seconde moitié.

Examinons ce qui se passe lorsqu'un train électrique circule dans la partie de voie $A_1 A_2$ affectée à un trans-

(1) Voir dans la *Revue générale de l'Electricité* des 3 mars et 7 avril 1917 l'article de M. Dachary sur l'utilisation des transformateurs-suceurs à la Compagnie du Midi.

Digitized by Google

formateur-suceur T (fig. 14). Lorsque le train est en A_1 le transformateur T est en fonctionnement et le courant de retour revient en majeure partie par le feeder F_1, F_2, F; lorsque le train est en B, le courant de retour appelé par le transformateur T, toujours en fonctionnement, se dirige de B vers A, partie dans les rails, partie dans le sol.

Le train arrivé en T_1, un peu en avant du transformateur, encore en fonctionnement par conséquent, le courant de retour va de T_1 en A_2, partie dans les rails, partie dans le sol.

La tension électromagnétique induite dans le fil télégraphique témoin, parallèle à la voie ferrée, est celle induite par le flux dû au passage du courant de traction dans le circuit K_1 T_1 A_1 F_1 t_1. Cette tension est évidemment d'autant plus faible que la longueur $T_1{}^1A_1$ est courte, et que la fraction de courant passée au sol entre T_1A_1 est moindre. On diminue la longueur T_1A_1 en augmentant le nombre de transformateurs-suceurs. Et si cette longueur est inférieure à $T_{av} + L_{ar}$, nous savons que l'on peut diminuer l'importance de la dérivation du courant au sol en éclissant électriquement les rails de roulement.

Dès que le train a dépassé le transformateur T, lorsqu'il est en T_2 par exemple, le courant de retour rejoint le feeder isolé par la connexion A_2F_2; le transformateur T n'étant plus en fonctionnement. Le flux perturbateur est alors dû au passage du courant de traction dans le circuit $K_2T_2A_2F_2$. Il est d'autant moindre que T_2A_1 est court et que la dérivation au sol entre T_3 et A_2 est faible.

Nous réduirons donc la force électromotrice perturbatrice induite par le courant de traction dans les lignes à courants faibles, en augmentant le nombre des transformateurs-suceurs, afin de ramener la distance A_1A_2 à être dans tous les cas inférieure à $2 \times (T_{av} + L_{ar})$; et, ceci obtenu, en éclissant électriquement les joints de la voie.

Le maximum de cette force électromotrice perturbatrice durant le trajet d'un train circulant de C_1, vers la sous-station, est en effet atteinte au passage du train devant le transformateur-suceur. Théoriquement, la force électromotrice perturbatrice devrait s'annuler au

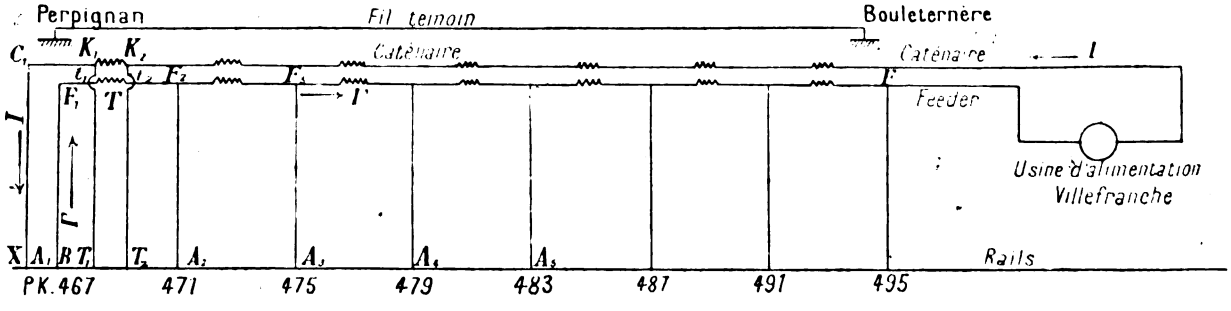


Fig. 14. — Schéma de l'installation de sept transformateurs-suceurs entre Perpignan et Bouleternère

passage du train devant les connexions A_1F_1; A_2F_2, etc.

Il est intéressant de rappeler que l'unique sous-station de Villefranche-Vernet-les-Bains alimente en bout, sur 47 km, la ligne de contact Perpignan-Villefranche. Sur un fil témoin parallèle à la voie, la tension perturbatrice mesurée était :

1° De près de 500 v avant l'installation des transformateurs-suceurs connectés au feeder isolé de retour, lorsqu'un train démarrait de Perpignan en absorbant 100 A sous 12000 v;

2° De seulement 48,5 v après l'installation des transformateurs-suceurs, lorsque le même train électrique passait devant le premier transformateur-suceur situé à 2 km de Perpignan, en absorbant toujours 100 A sous 12000 v.

b) Transformateurs-suceurs connectés directement aux rails. — Pour simplifier notre exposition, nous pouvons admettre que l'action des transformateurs-suceurs $T_1T_2T_3$, etc., est d'obliger le courant de retour à circuler dans les enroulements basse tension $E_1E_2E_3$, etc., de ces transformateurs (fig. 15).

Dès lors, le courant de retour issu de l'électromoteur et entré dans les rails de roulement en A devra passer en a_1, puis par E_1, b_1, a_2, E_2, etc.

D'après ce que nous avons exposé précédemment, le courant de retour restera d'autant mieux dans les rails sur les parcours Aa_1, b_1a_2, b_2a_3, etc., etc. :

1° Que ces parcours seront plus courts;

2° Que sur ces parcours les rails de la voie auront été éclissés électriquement, si ces parcours sont inférieurs à $(T_{av} + L_{ar})$.

L'utilisation des transformateurs-suceurs ainsi connectés aux rails de la voie, convenablement éclissés et suffisamment rapprochés pour que le train ne soit jamais à plus de 2 km de l'un des transformateurs, permettra d'augmenter notablement le facteur K de la formule (1), donnant la force électromotrice perturbatrice induite sur un fil témoin.

Il y a lieu de remarquer que l'avantage que procure l'installation des transformateurs-suceurs connectés aux rails ne sera que rarement suffisante si l'alimentation des lignes de contact est assurée par des sous-stations trop éloignées.

Dans ce cas, en effet, en admettant même que K atteigne la valeur 0,75, sur une section de 20 km de lon-

Digitized by Google

gueur alimentée par une seule sous-station placée en bout de ligne, nous obtiendrons encore 57,1 v comme tension perturbatrice sur un fil témoin parallèle à la voie placé à 10 m de celle-ci.

Avec cette même valeur de K, la tension perturbatrice serait ramenée à 7 v si l'on installait des sous-stations tous les 10 km.

On conçoit dès lors l'intérêt que présente l'augmentation parallèle du nombre des sous-stations et du nombre des transformateurs-suceurs sur une section où l'on n'emploie pas de feeder de retour isolé, en série sur les enroulements basse tension de ces derniers.

Il nous suffira de rappeler à titre d'exemple que sur le Norfolk and Western Railway les sous-stations sont réparties tous les 10 km en moyenne et que les transformateurs-suceurs sont placés tous les 1600 m et connectés aux rails de roulement dont les joints sont éclissés électriquement.

Conclusions.

Une longueur de voie, même éclissée électriquement et convenablement entretenue, offre une telle résistance au passage du courant alternatif qu'il est nécessaire de relier fréquemment les rails à de bonnes « prises de terre ». Ces mises à la terre favorisent la déperdition au sol du courant de retour, et ce n'est qu'aux abords des sous-stations d'alimentation et des trains électriques eux-mêmes que l'on constate la présence, dans les rails, d'une proportion du courant de retour réellement importante. Si les sous-stations sont éloignées les unes

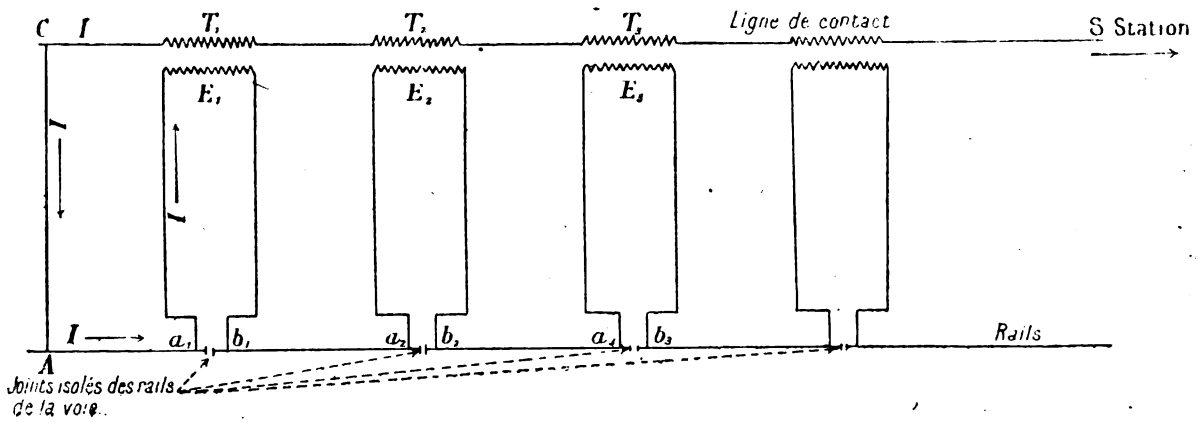


Fig. 15. — Répartition des transformateurs-suceurs connectés aux rails de roulement.

des autres, il n'y a pas grand intérêt à éclisser électriquement les rails, sauf dans le cas où l'on a installé des transformateurs-suceurs suffisamment rapprochés.

Dans ce cas, en effet, l'éclissage électrique des rails concourt à réduire la tension électromagnétique induite résultante dans les lignes à courants faibles en raison de ce qu'il favorise le maintien du courant de retour dans les rails, entre deux transformateurs-suceurs voisins.

L'éclissage électrique des rails de la voie est également avantageux, au point de vue des perturbations dans les lignes à courants faibles, lorsque les sous-stations sont suffisamment nombreuses pour que les trains circulant sur la ligne soient constamment à moins de 4 km d'une sous-station d'alimentation. Dans ce cas, en effet, les zones de sortie et de rentrée du courant de retour empiètent et l'éclissage électrique augmente la proportion du courant de retour restant dans les rails.

L'éclissage électrique a une influence favorable encore plus marquée par l'addition de transformateurs-suceurs connectés aux rails, sur les courtes sections d'alimentation obtenues par le rapprochement des sous-stations.

Si l'on ne réduit pas le parcours offert au courant de retour dans les rails, l'éclissage électrique ne présente pas d'avantage appréciable pour le retour du courant alternatif de traction.

Nous rappellerons cependant qu'il est nécessaire de connecter électriquement les rails interrompus par des appareils de voie (aiguillages, croisements, plaques tournantes, etc.) pour éviter toute différence anormale de potentiel, soit entre certains organes de ces appareils et le sol, soit entre ces appareils et les rails placés à leur amont ou à leur aval.

J. Lhériaud,
Ingénieur de la Traction à la Compagnie des Chemins de fer du Midi.

Digitized by Google

Le transport des marchandises sur les voies ferrées électriques d'intérêt local

L'encombrement des voies ferrées d'intérêt général a lieu dans tous les grands Etats du monde ; certaines nations ont décongestionné leurs réseaux d'intérêt général en utilisant les réseaux d'intérêt local et les lignes de tramways électriques. L'auteur de l'article ci-dessous examine ce qui a été fait en ce sens dans les différents pays.

Le transport des marchandises sur les voies électriques américaines. — Dans le but d'atténuer les effets de la crise des transports consécutive de l'état de guerre aux États-Unis comme en France, les chemins de fer et tramways électriques américains ont développé considérablement l'utilisation de leurs voies électrifiées pour le transport des marchandises et des messageries.

Jusqu'alors, on admettait généralement, comme on le fait encore trop souvent dans notre pays, que les voies ferrées électriques urbaines, suburbaines et interurbaines, ne peuvent servir qu'au trafic des voyageurs. Il était éminemment regrettable, cependant, que des milliers de kilomètres de voie ne fussent employés que pendant une faible partie du temps, alors qu'il n'y avait jamais eu un aussi fort mouvement de marchandises. Nos amis d'Amérique l'ont compris et ils ont pensé que la construction de raccordements convenablement prévus, la suppression de restrictions locales imposées par certains actes de concession, l'augmentation de la puissance des locomotives et de la capacité des wagons, l'amélioration des gares terminus, pourraient suffire dans bien des cas à décharger les lignes à vapeur du trafic local de voyageurs et de marchandises, en particuller de ce dernier.

Les premiers chemins de fer électriques (1) américains se préoccupaient peu du transport des marchandises. Il n'en a pas été de même de ceux construits en ces dernières années. Dans tous les cas, il est nécessaire que les lignes électriques existantes viennent en aide aux chemins de fer à vapeur au maximum de leurs moyens et qu'ils utilisent le maximum de leur capacité, en assurant tout le service local, libérant ainsi du matériel à vapeur pour le trafic à longue distance.

Il convient d'ailleurs d'observer que l'allégement de service procuré aux grandes Compagnies par les voies électriques se mesure, non seulement par le tonnage transporté, mais aussi par la suppression des stationnements prolongés dans les gares terminus, ceci entraînant une économie de charbon et de main-d'œuvre.

La capacité des chemins de fer à vapeur de grand parcours serait grandement accrue si tout le trafic local à petit parcours était assuré par les lignes électriques, et si le chemin de fer à vapeur était déchargé des mouvements accessoires dus aux trains locaux de voyageurs, aux trains de détail et aux manœuvres, qui tendent à diminuer le trafic de grand parcours et à gêner l'exploitation des terminus.

Partout où il existe deux lignes à peu près parallèles, l'une à vapeur, l'autre électrique, il y a lieu de les spécialiser et de laisser seulement à la première le trafic que ne pourrait assurer la seconde.

Les compagnies américaines se plaignent du manque de wagons. Une récente commande de 100000 wagons améliorera provisoirement la situation. Un remède meilleur peut être obtenu par une utilisation intensive du matériel : on ne peut l'obtenir qu'en organisant un échange convenable des wagons entre les divers réseaux existants, électriques et à vapeur.

Plusieurs lignes électriques font déjà le transit des marchandises entre diverses lignes à vapeur, et les résultats obtenus ont été particulièrement excellents. Le gain de temps qui en est la conséquence est très élevé, puisqu'il n'y a plus de transbordement des marchandises.

La première installation d'échange de ce genre a été réalisée par le Waterloo, Cedar Falls and Northern Railway. Elle comporte deux voies parallèles pouvant recevoir chacune 15 wagons, l'une sert aux arrivées, l'autre aux départs. Toutes deux sont directement reliées aux diverses lignes mises ainsi en relations.

Dans beaucoup de villes américaines, les tramways ne peuvent transporter de marchandises : les actes de concession, qui remontent au temps de la traction hippomobile, l'interdisent expressément. Ces restrictions sont aujourd'hui ridicules quand on considère le bruit et les dégâts que causent dans les mêmes villes les camions automobiles.

Il est vrai que, pour le trafic des marchandises et pour le transit des wagons des diverses compagnies, diverses améliorations sont nécessaires : amélioration des courbes construction de garages, terminus mieux installés, augmentation de l'effectif du matériel roulant.

Avantages sur le transport par camion. — Nos amis d'Amérique font nettement ressortir l'avantage économique du développement des voies ferrées électriques au détriment des camions automobiles.

(1) Les chemins de fer électriques dont il s'agit sont un peu analogues à nos voies ferrées d'intérêt local de chemins de fer et tramways. Il ne saurait être question ici des grands chemins de fer.

Digitized by Google

L'aménagement d'une ligne électrique américaine de 120 km pour le service des marchandises par locomotives ne coûte que 260 000 fr et permet de transporter des centaines de milliers de tonnes à un prix insignifiant. Qu'est une semblable dépense, finalement supportée par le public, en comparaison de celle que nécessiteraient la construction et l'entretien de camions et de routes ?

Le camion automobile a prouvé sa valeur en France, à l'arrière du front. Là, où les installations des chemins de fer ne corespondaient généralement pas aux besoins de la guerre, et où des résultats devaient être obtenus, quel que soit le prix, le camion était indispensable pour permettre un transport rapide, quoique coûteux, sur des routes mauvaises et à des distances relativement faibles. Aux Etats-Unis également, des cas analogues ont pu se présenter exceptionnellement.

Mais le camion est un instrument coûteux de tranport quand il s'agit de grandes quantités — à cause de l'entretien de la route, de l'établissement et de la dépréciation de l'équipement, du gaspillage du combustible et du lubrifiant et surtout de la main-d'œuvre. Les défenseurs du camion eux-mêmes le confessent.

Des sommes énormes sont nécessaires pour la construction des routes destinées aux camions. L'Etat de New-York a dépensé à lui seul 725 millions de francs pour ses routes modernes. Les routes nationales américaines ont coûté 4 400 millions de francs. Néanmoins, une subvention est demandée au gouvernement américain en faveur du camion, en raison de son utilité...

Le camion cause des ravages terribles aux routes modernes. On cite l'exemple de la route d'Akron à Cleveland, pavée en 1915 suivant les procédés les plus modernes et qui a déjà besoin d'être refaite ! En France, on n'aurait que l'embarras du choix pour citer des routes réputées solides ainsi détruites en quelques années.

Les chemins de fer électriques américains font observer avec juste raison que, si on les laissait transporter des marchandises sur leurs voies et sur les routes qu'ils ont la charge d'entretenir, des sommes considérables seraient épargnées, qui, actuellement, sont dépensées au bénéfice d'une industrie ne payant pas ses dégâts.

La sécurité d'exploitation est beaucoup plus grande par chemin de fer que par camion.

La vitesse des camions ne saurait non plus être comparée à celle des chemins de fer électriques en service normal. Un service de camions est actuellement projeté entre Detroit et Toledo, villes distantes de 96 km : un convoi formé d'un camion de 5 t et de deux remorques de 5 t irait à une vitesse de 16 km : h ; un train électrique de 50 à 150 t irait deux fois plus vite. La disproportion serait plus grande pour une distance plus considérable. Les trains électriques peuvent circuler à la même vitesse jour et nuit et avec égale sécurité. Il n'en va pas de même pour les camions.

Enfin, l'emploi déraisonnable des camions conduit à un gaspillage de la main-d'œuvre, comme le prouve l'exemple de l'Interurban Railway de Des Moines, qui a transporté 500 000 t de marchandises au Camp Dodge par trains de 1 000 à 1 500 t de 20 à 30 wagons chacun et avec un personnel de 4 hommes. La vitesse moyenne a atteint de 24 à 29 km : h. Il aurait fallu 10 000 camions à vapeur ordinaires pour faire le même transport avec un personnel 30 fois plus nombreux. Dans le premier cas, chaque agent transportait de 250 à 375 t par voyage, dans le second cas seulement 10 t.

Emploi de wagons automoteurs. — Un certain nombre de compagnies américaines assurent le service électrique des marchandises à l'aide de wagons automoteurs, attelés parfois d'un wagon de remorque. Cette solution permet de prévoir pour les trains de marchandises des horaires identiques à ceux des voyageurs et, par suite, d'intercaler les automoteurs avec ou sans remorque entre les voitures circulant pendant le jour sur la ligne.

Il en est ainsi dans la région d'Indianapolis, où on a jugé bon depuis quelque temps, par suite du manque de matériel roulant, d'effectuer le trafic de marchandises seulement pendant la nuit. Il en résulte un meilleur rendement des wagons, chargés pendant le jour et formant alors une partie virtuelle des magasins.

L'Aurora, Elgin and Chicago Railroad possède des automotrices capables de remorquer de 10 à 13 wagons ordinaires de trains à vapeur.

L'Interurban Railway de Des Moines a transformé 8 de ses automotrices à voyageurs en tracteurs remorquant des trains de 6 ou 7 wagons. Ce chemin de fer assure un service particulièrement important, à cause des nombreuses industries de la région qu'il dessert (l'une d'elles, avant l'entrée en guerre des Etats-Unis, entraînait un mouvement annuel de 6 600 wagons, soit 287 340 t); 5 mines de charbon provoquaient un mouvement quotidien de près de 4000 t et surtout du Camp Dodge installé à 19 km environ au nord-ouest de Des Moines pour recevoir 25 000 hommes. Ce camp a été construit au moyen des matériaux amenés par plus de 10 000 wagons.

Au Michigan Railway, de puissantes automotrices en acier, d'un poids total de 50 t, peuvent remorquer en palier jusqu'à 26 wagons. Entre Grand Rapids et Kalamazoo, les trains comportent en moyenne de 8 à 10 wagons de 15 t.

Traction par locomotives électriques. — Bien souvent, la traction se fait par locomotives puissantes, parfois comparables aux machines à vapeur moyennes.

Les locomotives électriques à marchandises de Chicago, Lake Shore and South Bend Railway pèsent 65 t et peuvent remorquer de 30 à 40 wagons.

A l'Illinois Traction System, elles pèsent 57 t; elles sont équipées de 4 moteurs de 200 ch et pouvant développer un effort de traction de 16 t.

La ligne principale du Waterloo, Cedar Rapids and Northern Railway emploie 5 locomotives de 53 t équipées de 4 moteurs de 250 ch et remorquant un train de 725 t à une vitesse de 38,5 km : h.

Des gares spéciales ont été construites pour permettre la réception et l'expédition des marchandises et des

Digitized by Google

messageries et beaucoup d'entre elles ont un mouvement comparable à celui des gares de chemin de fer à vapeur. Les installations d'Indianapolis peuvent servir d'exemple dans le genre. On y a prévu trois halles mesurant respectivement 10 m × 200 m, 10 m × 150 m, 15 m × 140 m. Les quais ont 3 m de large, 13 voies seront aménagées. Les voies d'accès sont telles que deux files de camions et de voitures peuvent stationner et circuler le long des quais.

Sur plusieurs lignes, les trains de marchandises circulent la nuit, pendant les heures d'arrêt du service de voyageurs. Sur d'autres, comme celles de la Northern Ohio Traction and Light Company, leur circulation se fait pendant les 24 heures. Il en est de même maintenant sur une partie des Kansas City Railways.

Ce dernier réseau offre un autre intérêt : il effectue sur ses voies urbaines la traction de wagons à voie normale des grands chemins de fer à vapeur au moyen d'une locomotive électrique, sur un parcours de 19 km entre Dodson et Westport Station. Dans la ville même de Kansas, deux des plus importantes épiceries de détail reçoivent directement leurs marchandises de Chicago par wagons amenés à leur quai. Plusieurs sociétés et particuliers s'y sont associés pour recevoir des expéditions en commun par wagons complets arrivant par les voies électriques de tramway.

Depuis que les voies ferrées électriques s'occupent du transport des marchandises, les délais d'expédition ont été considérablement diminués.

Ainsi, les wagons chargés jusqu'à 18 heures à Chicago partent de Kensington à 1 heure et arrivent à South Bend, à 124 km de là, à 8 heures.

Un résultat analogue est obtenu sur l'Illinois Traction System, où la ligne à voie unique dessert une importante région agricole et minière et où de longues voies d'évitement et des signaux de block ont été prévus.

Entre Canton et Cleveland, un délai de 4 à 10 jours était nécessaire pour le transport de marchandises par les chemins de fer à vapeur. La ligne électrique l'effectue en 4 heures.

Le transport des marchandises sur les voies électriques britanniques. — Les compagnies de tramways britanniques ont fait des tentatives analogues qui ont donné les meilleurs résultats. Jusqu'à ces dernières années, les conditions du trafic des marchandises étant profondément différentes de celles du service des voyageurs, les essais étaient restés isolés, mais chaque fois le public les avait accueillis avec la plus grande faveur. La guerre et les difficultés de ravitaillement qu'elle a entraînées ont montré que les voies ferrées d'intérêt local pouvaient, dans une certaine mesure faciliter la tâche des grands chemins de fer et atténuer les conséquences de la crise des transports.

Voici quelques indications sur ce qu'ont fait nos alliés d'outre-Manche.

La Dublin United Tramways Company a été l'une des premières à assurer le service des messageries sur son réseau. Les colis sont centralisés dans un dépôt principal situé près des bureaux de la Packville Street et expédiés aux dépôts des quartiers éloignés, d'où ils sont distribués par des messagers aux consignataires. Le transport des colis se fait par trains spéciaux formés d'un tracteur, identique à une automotrice ordinaire, et d'un wagon. Le tracteur peut contenir 10 t, le wagon 2 t. La compagnie fait circuler également des trains de marchandises de plusieurs wagons à faible empattement.

Les tramways de Bradford effectuent un service de messageries analogue depuis quelques années. Un bureau central a été installé au milieu de la ville, des bureaux secondaires ont été ouverts dans différents quartiers. Le dépôt central comporte des cases particulières pour les différents bureaux secondaires, qui reçoivent les colis destinés aux quartiers correspondants. Ils sont réunis en mannes ou en sacs à des heures régulières, expédiés aux bureaux secondaires et distribués. Il est possible de remettre soi-même les colis aux receveurs des voitures de voyageurs à leur passage en ville. Les commerçants de gros et de détail utilisent volontiers ce mode d'expédition pour la livraison de fournitures à leurs clients. Ils peuvent d'ailleurs obtenir un escompte en achetant à l'avance un grand nombre de tickets d'expédition imprimés à leur nom. En dehors du trafic ordinaire de messageries, la Compagnie assure divers transports pour le compte des services municipaux, notamment le transport des repas de 2000 écoliers. Le transport des colis du bureau central aux dépôts de quartiers se fait par deux grands fourgons automoteurs spéciaux. Les tramways transportent aussi des fournitures pour les établissements de bains, pour le service de la voirie par wagons spéciaux ; ils transportent également du lait.

A Auddersfield, des wagons de charbon circulent depuis 1904 sur les voies de tramway pour porter le combustible depuis le chemin de fer jusqu'aux industriels et aux marchands de charbon. Quelques voies de raccordement avec les usines ont été construites dans ce but. Les wagons employés sont analogues à ceux des chemins de fer, mais montés sur des trucks de tramway. Ils sont automoteurs. La caisse mesure 4,88 m × 1,88 m × 1,14 m. Ils pèsent environ 10 t à vide et 20 t en charge complète.

Le programme le plus complet a été appliqué à la fin de 1915 par le Birmingham and Midland Tramways Joint Committee. Au début, il s'agissait seulement d'un service de messageries assuré par les voitures de voyageurs. Son extension considérable et rapide entraîna la mise en service de fourgons automoteurs spéciaux qui circulent à horaire fixe entre les principaux points à desservir. Sur les embranchements, toutefois, les voitures de voyageurs acceptent encore sur leurs plates-formes les colis qui leur sont remis. Les motrices ont une capacité de 8 t, elles peuvent remorquer un wagon d'une capacité de 2 t.

A Leeds, les tramways font un transport important de marchandises par wagons spéciaux pour les besoins des services municipaux.

Digitized by Google

Le transport des marchandises sur les voies électriques françaises. — En France, divers chemins de fer d'intérêt local proprement dits font le transport des marchandises. Il n'en est pas de même pour les tramways électriques.

Cependant, la Compagnie des Tramways de Nice assure depuis seize ans un service très bien organisé de bagages, messageries et marchandises. Les marchandises sont acheminées par trains réguliers, soit en colis séparés, soit par wagons complets. Le transport des messageries se fait à l'aide de wagons légers remorqués par les automotrices à voyageurs. Les colis — fleurs, fruits, légumes, etc. — sont reçus par toutes les haltes et stations et centralisés aux gares de la place Masséna et de la place Garibaldi, puis expédiés par certains trains à leur passage. La compagnie se charge aussi de prévenir les destinataires de l'arrivée de colis à leur adresse, et même de les distribuer à domicile.

La recette du service des marchandises forme les deux tiers de la recette totale. On n'a enregistré aucune plainte des habitants ou des autorités publiques, bien que les wagons attelés aux trains de voyageurs circulent dans le cœur de la cité à toute heure du jour.

Sur la ligne de Nice à Contes, se fait un trafic important pour une fabrique de chaux et ciment située à 14 km environ de Nice, ainsi que pour l'usine à gaz et différents moulins. Le service pour l'usine à gaz comporte le déchargement du charbon du bateau, son chargement dans les wagons, son transport du port à l'usine et son déchargement dans les soutes de l'usine. Les trains sont traînés par de petites locomotives électriques. Ils peuvent ainsi transporter 12 000 t de charbon par journée de dix heures. Les locomotives pèsent 17 t à vide et ont une capacité de chargement de 8 t ; elles remorquent 5 wagons pesant chacun 5,5 t et portant 12 t.

Les tramways de Marseille ont organisé un service analogue qui a déjà été décrit dans ces colonnes (1) et a donné de bons résultats.

A Paris, la Compagnie générale des Omnibus a transformé depuis deux ans, par simple suppression de l'aménagement intérieur de la caisse, plusieurs de ses automotrices à deux essieux en tracteurs qui remorquent un wagon monté sur deux essieux à faible empattement. Les trains ainsi formés ont servi pendant la guerre au transport des obus venant des ateliers d'usinage, ainsi que des approvisionnements de combustibles nécessaires aux ateliers et dépôts de la Compagnie. Plusieurs usines ont été raccordées à cet effet aux voies des tramways de Paris et de la banlieue.

L'utilisation des voies ferrées parisiennes pour le transport de marchandises n'a pas été développée autant qu'on aurait pu l'espérer et le trafic qui en est résulté n'est guère important. Il n'est pas comparable à ce qui a été fait ailleurs, dans le Royaume-Uni et surtout en Amérique.

Il faut toutefois rappeler que, depuis près de vingt-cinq ans déjà, les voies électriques du tramway de Montrouge-Gare de l'Est servent la nuit au passage des trains de denrées du chemin de fer sur route de Paris à Arpajon (1) à destination des Halles Centrales. Ces trains comprennent jusqu'à 10 wagons pesant 15 t en charge complète et sont remorqués jusqu'à présent par locomotives à vapeur. Il est permis de prévoir que ce service fournira en France le premier exemple de ce qui a été fait en ces dernières années sur maintes lignes américaines : un tramway assurant sur ses voies la traction électrique de trains provenant d'un autre réseau exploité à la vapeur.

Conclusions. — Les considérations qui précèdent montrent tout l'intérêt qui s'attacherait en France à ce que les voies ferrées électriques d'intérêt local soient largement utilisées au transport des marchandises et des messageries.

Sans doute, on ne peut dire que les conditions soient les mêmes en France qu'aux Etats-Unis. Plusieurs de nos compagnies de tramways électriques gagneraient pourtant beaucoup à organiser des services analogues à ceux qu'ont prévus les compagnies américaines, notamment dans la région parisienne. Les usines et manufactures non raccordées directement aux grands réseaux pourraient ainsi recevoir de ceux-ci leurs approvisionnements par l'intermédiaire des voies de tramways et expédier de la même manière leurs produits. Le ravitaillement des Halles Centrales pourrait de même être facilité ; il semble en effet que la traction électrique sera seule pratique pour amener jusqu'au cœur de Paris, par les tramways de Saint-Germain et de Versailles, les trains de denrées projetés venant des lignes de la Compagnie de Grande Banlieue (Pontoise-Poissy-Saint-Germain, Meulan-Saint-Germain, Mantes-Versailles) et dont le mouvement sera vraisemblablement important.

Dans bien des cas, aussi, il y aurait avantage à prévoir la circulation sur les voies électriques d'intérêt local des wagons des grands réseaux, ainsi que l'essai en a été fait en ces dernières années avec succès sur les lignes à vapeur de la Compagnie de Grande Banlieue.

Lucien PAHIN.

(1) *R. G. E.*, 25 mai 1918, t. III, p. 777-778.

(1) Et même de la ligne nouvelle d'intérêt local d'Arpajon à Etampes (chemins de fer de Grande Banlieue).

Digitized by Google

Revues, analyses et informations

Le sens pratique dans l'éducation, condition du progrès de la Science et de l'Industrie.

Dans un article intitulé « l'Ecole du bon sens » paru dans cette Revue (1) un directeur d'une grande entreprise de constructions électriques, qui a tenu à conserver l'anonymat, montrait comment le simple *bon sens* permettait de résoudre nombre de problèmes concernant l'organisation méthodique du travail, l'installation des ateliers et de leurs annexes, lavabos et vestiaires, le choix des tarifs des salaires ouvriers, etc., et terminait par cette réflexion : « Mais les chefs d'industrie doivent travailler de plus en plus ces questions, entrer dans les détails, vivre dans l'atelier... ce qui n'est pas la tendance que donne l'enseignement technique à nos ingénieurs. »

C'est la même thèse que soutient un autre chef d'industrie, M. Emile Belot, directeur des manufactures de l'Etat, dans une communication faite l'an dernier à la Société Philomatique sous le titre inscrit en tête de cette note. Comme il est toujours utile de revenir sur une question de la solution de laquelle dépend l'avenir de notre industrie, que, d'autre part, M. E. Belot cite des exemples de manque de sens pratique qu'il est non moins utile de rappeler, qu'enfin il indique une solution, sinon totale, du moins partielle du problème, il nous paraît intéressant de donner une analyse sommaire de cette communication et d'en reproduire quelques extraits.

L'auteur pose tout d'abord cette question : « La « matière première » intelligente utilisée par l'organisme scientifique et industriel, qu'elle provienne des lycées ou des écoles primaires supérieures, a-t-elle été choisie et sélectionnée de manière que son rendement soit maximum ?

Il y répond par la négative et, parmi les arguments qu'il développe à ce propos, il indique celui-ci : « Jeunes, les élèves sont tenus à l'écart de toutes les conquêtes de la science et de l'industrie, sous prétexte qu'on ne pourrait pas leur donner une idée adéquate de leurs procédés et méthodes ; plus tard, par un véritable crime de lèse-progrès, on applique à la jeunesse un compartimentage néfaste et l'on scelle définitivement, bien avant que les intéressés aient pu manifester la moindre personnalité, la barricade qui sépare à tout jamais les *littéraires* des *scientifiques*. » Et à ce reproche fait à notre enseignement scolaire, il ajoute celui que cet enseignement est inapte à développer le *sens pratique* cependant si nécessaire dans la science et dans l'industrie.

C'est alors qu'il cite, comme preuves par l'absurde, certains faits qui montrent le manque de sens pratique de nos savants et de nos ingénieurs. Il nous suffira ici de reproduire les passages suivants de son étude :

« Les établissements publics tels que le Louvre, l'Hôtel-Dieu, déversent les torrents de fumée de leur cheminée de calorifère sur les collections, les bibliothèques, les malades, alors que d'un trait de plume on pourrait alimenter les grilles avec du coke au lieu de charbon et se conformer ainsi aux règlements municipaux sur la fumivorité, comme l'ont fait déjà depuis longtemps les grands magasins et grands hôtels de Paris. Est-il utile d'énumérer ces nombreux ministères où l'on allume en hiver tous les jours de 200 à 400 feux de bois, comme on pouvait le faire du temps de Louis XIV, en ayant l'air d'ignorer les bienfaits du *chauffage central*, les dangers des feux de cheminée et la malpropreté des ramonages ?

» La fiscalité sous toutes ses formes jette à pleines mains ses défis au bon sens. La science appliquée a résolu le problème des transports rapides par les camions automobiles ; mais l'octroi a tôt fait d'annihiler un tel progrès : des files d'automobiles, au moment où l'on manque de moyens de transport, sont arrêtées aux portes de Paris pendant un temps qui leur permettrait d'en faire le tour.

» On se plaint qu'on manque de wagons et de charbon mais on emploie les wagons à véhiculer des pierres et des stériles qu'un lavage et un triage faits par des femmes auraient laissés sur le carreau de la mine. Le même charbon qui, par kilogramme, rendait 7,5 kg de vapeur avant la guerre, rend maintenant, *non trié*, 4,5 kg ; sur 100 wagons occupés au transport, il y en a 40 qui apportent à Paris des pierres qu'il faudra transporter ensuite sous forme de scories.

» On a manqué aussi de péniches et d'acier : la douane se charge d'accélérer la fourniture à nos usines de guerre.

» Une péniche chargée d'acier américain arrive à Paris venant du Havre ; mais une partie des lots d'acier n'avait pas été dédouanée au Havre ; un coup de téléphone à la direction générale pouvait sans doute aplanir cette immense difficulté.

» Le croirait-on ? On a fait redescendre la Seine à la péniche non déchargée pour aller quêter au Havre les papiers et des signatures, tandis que les usines de guerre attendaient leurs aciers !... »

Reproduisons aussi la conclusion :

« Nous n'irons pas, avec G. Sarton (1), jusqu'à dire que le *mandarinisme* des littéraires est un anachronisme insupportable », mais nous croyons que la solution du problème posé consiste dans la réconciliation des deux clans rivaux, sourdement ennemis jusqu'ici, les « littéraires » et les « scientifiques ». Les littéraires, qui dans les établissements d'instruction dominent par le nombre et au dehors par la plume et la parole, sont peu préparés à comprendre, par exemple, la puissance éducatrice de l'enseignement du dessin et du travail manuel ; les scientifiques sont parfois trop enclins à cette spécialisation excessive qui compartimente chaque science et oblitère dans les intelligences le sens des idées générales et le flair des directives du progrès. Il faut, entre les deux rivaux, un trait d'union qui supprime cette paralysie des initiatives et aboutisse à l'action : c'est la diffusion du *sens pratique*. »

(1) C... (F). L'Ecole du bon sens ; *R. G. E.*, 5 mai 1917, t. I, p. 710-712.

(1) Sarton (G.). Le nouvel humanisme ; *Scientia*, 1918, t. III.

Digitized by Google

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Circulaire recommandant aux préfets de n'accorder l'installation de distributions d'énergie électrique par permission de voirie que sur avis du ministre des Travaux publics et des Transports.

Le ministre des Travaux publics et des Transports a adressé aux préfets, le 10 décembre 1918, une circulaire pour leur recommander de n'accorder des permissions de voirie pour l'installation de distribution d'énergie électrique qu'à titre exceptionnel et après avis du ministre; nous publions ci-dessous cette importante circulaire :

Paris, le 10 décembre 1918.

Le ministre des Travaux publics et des Transports à M. le préfet du département d...

Le circulaire du 1er octobre 1912 a fait ressortir les inconvénients qui peuvent résulter de l'installation des distributions d'énergie électrique, par permission de voirie, et, depuis cette époque, l'application pratique de la loi de 1906 n'a fait que confirmer l'Administration dans ses intentions de réduire au strict minimum les installations par permission de voirie.

A diverses reprises, en effet, elle s'est heurtée, au moment de l'examen de demandes de concessions d'importants réseaux de distribution dans des régions où fonctionnaient déjà des distributions établies sous le régime des permissions de voirie, à des difficultés inextricables, notamment au point de vue de la détermination de l'équivalence des charges à imposer à ces entreprises concurrentes par application de l'article 8 de la loi du 15 juin 1906.

Le Conseil d'État, consulté à ce sujet par l'Administration, a, dans un avis du 25 avril 1917, reconnu l'impossibilité de déterminer l'équivalence des charges à imposer à des entreprises fonctionnant sous des régimes différents.

D'autre part, à la suite du développement considérable pris pendant la guerre par les distributions d'énergie électrique pour desservir les établissements nécessaires à la Défense nationale et eu égard à l'essor que l'industrie électrique ne manquera pas vraisemblablement de prendre encore après les hostilités, l'Administration se trouve conduite aujourd'hui plus que jamais à n'autoriser de nouvelles installations que sous les conditions les plus conformes à l'intérêt général et les plus propres à éviter des difficultés dans l'avenir.

Le régime de la concession est celui qui, dans la presque totalité des cas, répond le mieux à ce but.

Or, ainsi que vous le savez, une jurisprudence constante du Conseil d'État, confirmée encore dans un avis tout récent de la haute assemblée, à la date du 26 juillet 1918, reconnaît à l'Administration un pouvoir discrétionnaire pour décider si un service de distribution d'énergie électrique doit être établi par voie de concession ou de permission de voirie et quel est celui de ces modes d'exploitation compatible, dans chaque cas, avec les intérêts généraux dont elle a la charge.

Dans ces conditions, j'estime que le moment est venu d'assurer en cette matière l'unité de vues dont le législateur a posé le principe dans l'article 16 de la loi de 1906, en confiant au ministre des Travaux publics le contrôle de la construction et de l'exploitation de toutes les distributions d'énergie électrique, tant distributions d'État que distributions communales.

A cet effet, je vous prie de n'autoriser à l'avenir l'installation, par permission de voirie, d'aucune distribution publique d'énergie électrique sans que j'aie été appelé à donner mon avis sur la suite à réserver à l'affaire.

Par suite, les demandes de permission de voirie dont vous serez saisi en vertu de l'article 3 (premier paragraphe), du décret du 3 avril 1908, continueront comme précédemment à être transmises par vos soins à l'ingénieur en chef du contrôle, mais ce dernier devra, avant de commencer l'instruction, me transmettre le dossier de l'affaire en y joignant un avis sommaire sur le mode d'autorisation qu'il lui semblera préférable d'adopter.

Le dossier sera renvoyé directement à l'ingénieur en chef avec mes instructions et il vous l'adressera ensuite pour la décision définitive qui est de votre ressort.

Aucun changement n'est d'ailleurs apporté à la procédure relative aux demandes d'installation des distributions s'étendant sur plusieurs départements puisque, par application de l'article 3 (paragraphe 2) du décret précité, ces demandes doivent être adressées à l'Administration supérieure qui les examinera au moment où elle en sera saisie.

Enfin, les prescriptions ci-dessus ne visant que les demandes de permissions de voirie relatives à des distributions publiques ne sont évidemment pas applicables pour l'instruction des dossiers relatifs aux lignes particulières de distribution visées aux annexes n° 1 et n° 4 de la circulaire du 1er octobre 1912.

J'envoie une copie de la présente circulaire aux ingénieurs en chef du contrôle qui auront à en assurer l'exécution pour la partie les concernant.

Le Sous-secrétaire d'État,
Jules Cels.

Décisions concernant la vente et le commerce du magnésium, du ferro-chrome, du ferro-tungstène, du ferro-molybdène, du chlorure de magnésium et du siliciure de calcium.

Le ministère de la Reconstitution industrielle vient de prendre les décisions suivantes qui ont été publiées au « Journal officiel » du jeudi 5 décembre 1918, p. 10 497 :

Aux termes de décisions du ministre de la Reconstitution

Digitized by Google

industrielle en date du 1er décembre 1918, la vente et le commerce du magnésium, du ferro-chrome, du ferro-tungstène, du ferro-molybène, du chlorure du magnésium et du siliciure de calcium sont libres à partir de la date ci-dessus.

Toutefois le régime actuel relatif aux autorisations d'importation et d'exportation de ces mêmes métaux est maintenu jusqu'à nouvel ordre.

Arrêté fixant les attributions du cabinet du ministre et des services de l'administration centrale du ministère de la Reconstitution industrielle.

Le « Journal officiel » des 26 et 27 décembre 1918 publie, p. 11165, l'arrêté suivant :

Par arrêté en date du 21 décembre 1918, rendu en exécution de l'article 6 du décret du 26 novembre 1918, portant transformation du ministère de l'Armement et des Fabrications de guerre en un ministère de la Reconstitution industrielle, le ministère a fixé ainsi qu'il suit les différents services du ministère :

I. — Cabinet du ministre et services communs : rattachés pour ordre au cabinet du ministre.

II. — Services ou groupement de services suivants :

1° Direction des mines ;

2° Direction des matières premières ;

3° Direction du cuir et du vêtement ;

4° Direction des fabricatioas générales ;

5° Direction des poudres ;

6° Direction du contrôle, de la comptabilité générale et du contentieux ;

7° Direction de la main-d'œuvre ;

8° Service et office de la reconstitution industrielle des régions libérées.

Par le même arrêté, la Commission des contrats, précédemment instituée auprès du sous-secrétariat d'Etat de l'artillerie et des munitions, puis du ministère de l'Armement et des Fabrications de guerre, a été maintenue avec les mêmes attributions auprès du ministère de la Reconstitution industrielle.

Décret réglementant la vente, la circulation et l'emploi du pétrole et de l'essence ainsi que la circulation des véhicules automobiles.

Le « Journal officiel » des 26 et 27 décembre 1918 publie, p. 11163, le décret suivant pris en date du 24 décembre 1918 :

ARTICLE PREMIER. — A dater du 1er janvier 1919, la vente, la circulation et l'emploi du pétrole et de l'essence seront libres, sous réserve des seules dispositions ci-après, qui peuvent être modifiées ou abrogées, par décret du ministre de l'Agriculture et du Ravitaillement.

ART. 2. — Les véhicules automobiles de toute nature utiles aux besoins de l'agriculture, du commerce et de l'industrie, peuvent circuler librement dans la zone de l'intérieur.

ART. 3. — Les voitures de tourisme peuvent circuler librement dans une zone de 50 km de rayon autour de la localité où résident leurs propriétaires ou possesseurs.

ART. 4. — Des permis de circuler pourront être délivrés à Paris par le préfet de police et dans les départements par les préfets pour une zone plus étendue, à titre temporaire ou permanent, pour des motifs se rattachant à l'intérêt général.

ART. 5. — Tout propriétaire possesseur ou conducteur d'automobile qui circulera dans des conditions contraires aux dispositions des articles 3 et 4 du présent décret sera passible des pénalités prévues à la loi du 10 février 1918.

ART. 6. — Aucune quantité de pétrole ni d'essence ne pourra sortir des usines, entrepôts et tous établissements contrôlés des raffineurs de pétrole sans être inscrite sur les titres de sortie actuellement en usage ou sans une autorisation spéciale du commissaire général aux essences et combustibles.

ART. 7. — Ce titre de sortie extrait d'un carnet à souche est établi par le sous-intendant militaire, directeur du centre de ravitaillement en essence, auquel l'établissement livrancier est rattaché.

ART. 8. — En ce qui concerne l'exécution des commandes, émanant des centres de ravitaillement militaires, le titre de sortie est constitué par la commande elle-même.

ART. 9. — Des titres de sortie spéciaux sont délivrés sur simple demande des raffineurs pour les expéditions d'un entrepôt de vrac contrôlé sur un autre établissement contrôlé.

ART. 10. — Pour toutes les autres sorties, les titres sont établis dans les formes à déterminer par voie d'instruction ministérielle. Il est établi des titres distincts par département destinataire.

ART. 11. — Ces titres de sortie sont ensuite centralisés aux fins de vérification et de statistique par le commissariat général aux essences et combustibles.

ART. 12. — Les raffineurs avisent les préfets de toutes expéditions de pétrole ou d'essence faites à destination de leur département dans les cas spécifiés à l'article 10 ci-dessus.

Dans le département de la Seine, la déclaration des raffineurs est adressée au préfet de police.

ART. 13. — La redevance de 2 fr par hectolitre d'essence continuera à être perçue à titre de participation aux frais du contrôle. Le montant de la perception sera établi d'après les quantités d'essence expédiées ou livrées dans les conditions prévues au présent décret, à l'exception des sorties visées aux articles 8 et 9 ci-dessus.

Cette redevance ne s'applique pas au pétrole.

La redevance est acquittée à la fin de chaque mois par les raffineurs. Son recouvrement a lieu au moyen d'ordres de versement établis au nom de chacun d'eux, d'après les comptes des quantités portées sur les titres de sortie délivrés pendant le mois.

ART. 14. — Sont abrogées toutes les dispositions contraires au présent décret et notamment les décrets des 16 avril, 31 août et 4 décembre 1917, 20 et 21 mars, 12 novembre 1918 et les arrêtés des 22 juin, 27 décembre 1917, 22 février et 23 mars 1918, réglementant la consommation et la circulation de l'essence et du pétrole, ainsi que la circulation des véhicules automobiles.

ART. 15. — Le président du Conseil, ministre de la Guerre, le ministre de l'Agriculture et du Ravitaillement, le ministre de la Marine, le ministre de l'Intérieur, le ministre de la Reconstitution industrielle, le ministre des Travaux publics et des Transports, le ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, des Transports maritimes et de la Marine marchande, et le ministre des Finances sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret.

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF :
Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 4. — 25 JANVIER 1919

Chronique. — A propos des déprédations commises contre les réseaux électriques. — Bibliographie : Annuaire de la Houille blanche française, par A. PAWLOWSKI; Technique radiologique, par Ph. GRILLON, p. 121-122.

Section scientifique et technique. — Note sur la vitesse critique des arbres, formule de Dunkerley, par E. HAHN, p. 123. Revues, analyses et informations : Influence des diélectriques sur les tensions disruptives, p. 131.

Section industrielle. — L'éclairage électrique au théâtre, par J. REYVAL, p. 133. — Revues, analyses et informations : Les redresseurs à vapeur de mercure, p. 146; Les caractéristiques de l'ampère-heure-mètre à collecteur, p. 149; Représentations mécaniques des phénomènes électromagnétiques, p. 150; Les relais téléphoniques employés par l'Administration française, p. 151.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Sud-Electrique, p. 153; Compagnie électrique de la Loire et du Centre, p. 153; Energie électrique du Nord de la France, p. 154; Société Roubaisienne d'Eclairage par le Gaz et l'Electricité, p. 154.

Section de Législation. — Les nouveautés de la loi fiscale du 31 décembre 1918, par Paul BOUCAULT, p. 155. — Législation, jurisprudence, réglementation : Documents de jurisprudence, p. 158; Arrêté instituant un comité d'études et de recherches scientifiques pour l'aménagement et l'utilisation des forces hydrauliques, p. 160

A propos des déprédations commises contre les réseaux électriques. — M. E. Vaillaux, directeur de l'exploitation de La Champagne électrique, nous écrit :

J'ai lu avec grand intérêt l'article de M. Jean de la Ruelle, publié dans le numéro 25 de la Revue, sur les déprédations commises contre les réseaux électriques et leur répression.

Il est évident que, par suite de leur extension croissante, les réseaux électriques qui empruntent les routes perdent rapidement leur sécurité et que le service d'un grand réseau est beaucoup moins régulier que celui d'un petit.

Les avaries causées aux lignes par les passants, conscients ou non, sont pour une part dans ce résultat, mais ce n'est pas là la cause la plus grave de l'insécurité.

Tous ceux qui ont la charge d'un réseau étendu à haute tension, connaissent les inconvénients des lignes établies en bordure des routes plantées d'arbres. Le voisinage des ramures est un danger perpétuel que l'élagage bi-annuel ne suffit pas à écarter. A chaque bourrasque, à chaque coup de vent, des branchettes se détachent des arbres adultes, particulièrement des peupliers plus fragiles, et s'accrochent aux conducteurs qu'ils court-circuitent. Les jeunes arbres fléchissent sous la poussée du vent et touchent à chaque instant les fils qu'ils mettent à la terre : les centrales déclenchent et le service est pratiquement impossible tant que dure la tempête, soit habituellement pendant trois jours, mettant en chômage les usines alimentées sans parler de l'éclairage d'innombrables particuliers.

Une telle situation à certaines saisons est réellement intolérable et appelle un remède qui, si on ne l'applique pas de bonne grâce, s'imposera à bref délai.

Il est simple et radical : obligation d'établir les lignes de transport à une distance minimum de dix mètres des routes plantées d'arbres, avec comme contre-partie nécessaire, la cession obligatoire, à un tarif raisonnable, du terrain destiné à recevoir les supports.

Cette solution, il est évident que les Compagnies exploitantes ne peuvent songer à l'appliquer qu'avec le concours de l'Administration qui l'apporterait bien volontiers dans l'intérêt général. Seules et sous le régime actuel, elles se heurtent à des exigences exorbitantes de certains propriétaires et même à des refus absolus, et nous avons vu des lignes présentant des solutions de continuité pendant plus d'une année par suite d'obstacles de ce genre. C'est pourquoi, malgré ses tares trop connues, la ligne sur route est encore pratiquée au grand dam des compagnies et des usagers.

Aussi, à mon avis, serait-il opportun de mettre la question à l'étude et de provoquer l'avis des directeurs d'exploitations.

La guerre a fait admettre une certaine subordination de l'intérêt particulier à l'intérêt général, le moment semble donc propice à tous points de vue.

Nous avons également reçu de M. G. Charpentier, de Meyzieu (Isère), une lettre dans laquelle cet ingénieur suggère d'autres solutions et dont voici quelques passages :

Il me semble que la solution la meilleure, si elle vaut quelque chose, serait dans une entente entre les compagnies de chemin de fer, et les compagnies de distributions électriques.

Digitized by Google

Effectivement, ces dernières devront, dans un laps de temps assez rapproché, se trouver fournisseurs des chemins de fer. On sera donc amené à établir, le long de nos réseaux ferrés, des lignes d'alimentation. Pourquoi, dès lors, ne créerait-on pas, au-dessus des voies, de véritables « chemins aériens » pour les lignes de distributions d'énergie, qui pourraient l'emprunter toutes les fois qu'il serait possible, en payant à la compagnie du chemin de fer une minime redevance, ou en entrant à frais communs dans l'entretien des supports, etc... Supposez une ligne de chemin de fer ayant une superstructure semblable à celle de bien des lignes de chemin de fer électriques, composée de poteaux situés de part et d'autre des voies et supportant un ensemble de portées permettant l'établissement des isolateurs de lignes, côte à côte, avec les distances suffisantes s'entend.

Il y a encore une solution qui se fait jour, c'est que les distributions d'énergie ayant un même parcours s'entendent pour établir une ligne unique dans la section commune, et se repartagent le courant transporté, après l'avoir réuni en un seul. Il s'en suivrait une ou deux distributions à très haute tension, dont l'établissement, fait en commun, serait moins onéreux.

Ce que j'ai dit des chemins de fer, pourrait peut-être s'appliquer aussi, avec quelques modifications, aux canaux, ou aux rivières et fleuves, ce qui supprime le voisinage des poteaux sur les routes, dont le danger est réel.

Pour terminer, je crois devoir ajouter que, avant la guerre, le nombre des abonnés au téléphone était de 250 000 environ en France Ce chiffre représente, si ma mémoire est bonne, 1 appareil par 77 habitants, alors qu'en Suisse, en Amérique, on trouve un appareil pour 14 habitants.

Il s'ensuit que le développement de nos lignes téléphoniques s'impose. Il y aura donc, dans l'avenir, assez de fils de lignes sur nos routes, en ne comprenant que le télégraphe, le téléphone et les tramways sur route avec leurs signaux, pour que les distributeurs d'énergie électrique recherchent une solution qui leur permettra de n'avoir plus à s'occuper des troubles que leurs lignes causent dans les lignes téléphoniques.

Si cette solution « aérienne » ne devait pas réunir les suffrages des hommes compétents, il reste encore une solution, qui ne serait peut-être pas plus coûteuse que l'achat de la piste close, c'est la transformation des lignes aériennes, en lignes souterraines, par câbles.

Bibliographie : Annuaire de la Houille blanche française, par A. Pawlowski, professeur à l'École des Hautes Études sociales [1]. — En présentant cette deuxième édition à nos lecteurs nous pourrions nous borner à indiquer les quelques détails qui la différencient de l'édition primitive [2] et à ajouter que M. Pawlowski s'est attaché à mettre au point pour fin 1918 les renseignements qui y sont contenus.

Disons toutefois que l'ouvrage est divisé en cinq parties dont la première est consacrée à l'exposé de l'historique, de la technique générale et de la législation de l'industrie du captage des forces motrices hydrauliques, dont les trois suivantes, formées de notices sur les sociétés de distribution, les sociétés d'électrométallurgie et d'électrochimie, les sociétés de traction, constituent l'annuaire proprement dit, et dont la dernière donne, sous forme de tableaux, les cours en décembre 1913 et en décembre 1918 des actions et obligations de quelques-unes de ces sociétés. Ajoutons que la nouvelle édition contient 4 cartes montrant les emplacements des principales usines hydroélectriques des régions du Jura, des Alpes et du Sud-Est, des Pyrénées et du Plateau central.

[1] Un vol., format 28 cm × 22 cm. 174 pages. Préface de R. de la Brosse, inspecteur général des Ponts et Chaussées. En vente aux bureaux de la *R. G. E.*; prix (majoration comprise), 12 fr.

[2] Voir *R. G. E.*, 15 décembre 1917, t. II, p. 924.

Bibliographie : Technique radiologique, par Ph. Grillon, ingénieur E. P. C. I., instructeur aux Ateliers généraux du Service de santé. Préface de M. le médecin-major de 1re classe Haret [1]. — Les ouvrages de radiologie, plus ou moins développés, plus ou moins généraux, ont été écrits jusqu'ici par et pour des médecins. C'est dire que leur but principal était surtout l'application des rayons X soit au diagnostic, soit à la thérapeutique, la production même des rayons ne constituant qu'un sujet accessoire.

Tout autre est l'esprit dans lequel a été écrit le livre ci-dessus. Il tire son origine des leçons professées à l'École des manipulateurs radiographes que le Service de santé militaire a dû former en grand nombre pendant la guerre. D'origines très diverses, ces élèves ont dû être instruits très rapidement sous la pression des événements, de façon à être aptes à monter, entretenir et quelquefois réparer les appareillages radiologiques de types fort divers en service aux armées.

Les directives d'un pareil enseignement seront donc : un exposé aussi simple que possible des questions théoriques nécessaires à la compréhension du fonctionnement des divers organes d'une installation; une description complète et détaillée de toutes les installations usitées; des renseignements pratiques et immédiatement applicables sur le montage électrique des appareils, sur la mise en route, l'entretien, la recherche des pannes propres à chaque appareillage.

Le but est atteint dans l'ouvrage de M. Grillon, grâce à une rédaction simple, de multiples gravures, des croquis et surtout de précieux schémas de connexions, qu'il est parfois difficile de se procurer, même auprès des constructeurs.

Après avoir donné quelques notions sommaires de mécanique et d'électricité, l'auteur décrit le groupe électrogène et son fonctionnement (ce chapitre comprend la théorie de la magnéto d'allumage et de la dynamo). Les appareils nécessaires à la production du courant à haute tension sont ensuite examinés (bobines de Ruhmkorff, interrupteurs divers), ainsi que les ampoules radiogènes, y compris la Coolidge, le tube de l'avenir, et les soupapes qui leur sont adjointes. Ici se place la description des installations fournies par les divers constructeurs. Les méthodes d'examen radioscopique, les procédés de répérage des corps étrangers, les compas sont l'objet d'un assez long développement sous le titre « radioscopie »; sous le titre radiographie, des renseignements précis sont donnés sur la prise du cliché, le temps de pose, les opérations photographiques et les méthodes de localisation purement radiographiques. L'utilisation du courant alternatif pour le fonctionnement des ampoules radiogènes fait l'objet d'un quatrième chapitre, dont les principaux paragraphes traitent du contact tournant, des moteurs synchrones et asynchrones, des soupapes « kentron » et des soupapes électrolytiques. Accessoirement se trouvent décrits des appareils électro-médicaux non radiologiques utilisés pour la recherche des projectiles (doigtier audioscopique de la Beaume Pluvinel, téléphone de Hedley, électro-vibreurs). Enfin, un cinquième chapitre donne des renseignements pratiques pour la réalisation des installations d'éclairage et pour l'entretien des accumulateurs. — H. B.

[1] Un vol. format 14 cm × 22 cm, 320 p., 222 figures, édité par la librairie A. Maloine et fils, 27, rue de l'École de Médecine, Paris, 1919. Prix, 2 fr.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Note sur la vitesse critique des arbres Formule de Dunkerley

Le présent travail contient une démonstration de la formule de Dunkerley et un calcul de l'erreur que comporte cette formule. La loi de formation des coefficients de l'équation générale de la vitesse critique y est exposée, ce qui élucide une question que M. Stodola qualifiait lui-même d'obscure (1).

1. — **Définition de la formule de Dunkerley.** — Soit ω_c la vitesse critique d'un arbre reposant sur un nombre quelconque d'appuis de nature quelconque (appuis libres ou encastrements) et portant un certain nombre de roues de masses $M_1, M_2, \ldots, M_n$; soit M_a la masse propre de l'arbre; soient $\omega_1, \omega_2, \ldots, \omega_n$ les vitesses critiques que prendrait l'arbre supposé dépourvu de masse s'il était sollicité successivement par chacune des masses agissant isolément; soit ω_a la vitesse critique due à la masse propre de l'arbre; on peut, d'après Dunkerley, formuler la proposition suivante : *L'inverse du carré de la vitesse critique du système est égal à la somme des inverses des carrés des vitesses critiques élémentaires*, et écrire par conséquent

$$(1) \qquad \frac{1}{\omega_c^2} = \frac{1}{\omega_a^2} + \frac{1}{\omega_1^2} + \frac{1}{\omega_2^2} + \ldots\ldots + \frac{1}{\omega_n^2}.$$

Dunkerley a indiqué cette relation à la fin d'un mémoire important (2) où, après avoir tenté l'intégration de l'équation générale de la ligne élastique de l'arbre dans divers cas et reconnu l'impossibilité de tirer aucune conclusion pratique des résultats (sauf dans le cas de l'arbre considéré seul), il constate l'accord très satisfaisant qui existe entre les résultats expérimentaux qu'il communique et ceux calculés à l'aide de la formule (1). Il n'en donne d'ailleurs aucune démonstration et se borne à en justifier la forme et à la rendre plausible par des considérations basées sur la théorie des vibrations.

Je me propose de montrer comment on peut établir rigoureusement la formule de Dunkerley et calculer l'erreur qu'elle comporte, car, comme on le sait et comme s'en rendait compte son auteur, cette relation ne donne qu'une solution approchée du problème.

2. — **Cas de masses séparées.** — Négligeons pour commencer l'influence de l'obliquité des roues et des couples de redressement qui en résultent; supposons en outre que les roues soient rigoureusement centrées; enfin, faisons abstraction de la masse propre de l'arbre. Nous reprendrons plus loin l'étude de ces points spéciaux.

(1) Voir Dampfturbinen, IV Auflage, p. 293.
(2) *Philosophical Trans*, Londres, 1894, t. CLXXXV, p. 279.

Désignons par $C_1, C_2, \ldots C_n$ les forces centrifuges développées par les masses $M_1, M_2, \ldots M_n$ en raison du fléchissement de l'arbre, soient $y_1, y_2, \ldots y_n$ les inflexions mesurées au droit des disques. Nous pouvons écrire

$$\begin{aligned} y_1 &= \alpha_{11}C_1 + \alpha_{12}C_2 + \ldots\ldots + \alpha_{1n}C_n, \\ y_2 &= \alpha_{21}C_1 + \alpha_{22}C_2 + \ldots\ldots + \alpha_{2n}C_n, \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ y_n &= \alpha_{n1}C_1 + \alpha_{n2}C_2 + \ldots\ldots + \alpha_{nn}C_n, \end{aligned}$$

où les coefficients α sont les coefficients d'influence tels qu'on les considère dans la théorie de la flexion des poutres droites.

Mais nous avons d'autre part

$$C_1 = y_1M_1\omega^2, \quad C_2 = y_2M_2\omega^2, \quad \ldots\ldots, \quad C_n = y_nM_n\omega^2,$$

et, par suite, le système d'équations (2) devient

$$\begin{aligned} &(\alpha_{11}M_1\omega^2 - 1)y_1 + \alpha_{12}M_2\omega^2y_2 + \ldots\ldots + \alpha_{1n}M_n\omega^2y_n = 0, \\ &\alpha_{21}M_1\omega^2y_1 + (\alpha_{22}M_2\omega^2 - 1)y_2 + \ldots\ldots + \alpha_{2n}M_n\omega^2y_n = 0, \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &\alpha_{n1}M_1\omega^2y_1 + \alpha_{n2}M_2\omega^2y_2 + \ldots\ldots + (\alpha_{nn}M_n\omega^2 - 1)y_n = 0. \end{aligned}$$

Les valeurs critiques de la vitesse sont celles qui rendent nul le déterminant des coefficients des quantités y; on arrive donc à l'équation de condition

$$(3) \qquad \begin{vmatrix} \alpha_{11}M_1\omega^2 - 1, & \alpha_{12}M_2\omega^2, & \ldots & \alpha_{1n}M_n\omega^2 \\ \alpha_{21}M_1\omega^2, & \alpha_{22}M_2\omega^2 - 1, & \ldots & \alpha_{2n}M_n\omega^2 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \alpha_{n1}M_1\omega^2, & \alpha_{2n}M_n\omega^2, & \ldots & \alpha_{nn}M_n\omega^2 - 1 \end{vmatrix} = 0.$$

3. Ce déterminant est de la forme

$$\begin{vmatrix} a_{11} + z, & a_{12}, & \ldots & a_{1n} \\ a_{21}, & a_{22} + z, & \ldots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1}, & a_{n2}, & \ldots & a_{nn} + z \end{vmatrix}.$$

Digitized by Google

qui, ainsi qu'on en trouvera la démonstration dans les traités d'algèbre, peut s'écrire

$$A_n + A_{n-1}z + A_{n-2}z^2 + \ldots\ldots + A_2 z^{n-2} + A_1 z^{n-1} + z^n$$

où

$$A_{11} = a_{11} + a_{22} + \ldots\ldots + a_{nn},$$

$$A_2 = \left\{ \begin{vmatrix} a_{11}, & a_{12} \\ a_{21}, & a_{22} \end{vmatrix} + \ldots + \begin{vmatrix} a_{11}, & a_{1n} \\ a_{n1}, & a_{nn} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{22}, & a_{23} \\ a_{32}, & a_{33} \end{vmatrix} + \ldots + \begin{vmatrix} a_{22}, & a_{2n} \\ a_{n2}, & a_{nn} \end{vmatrix} + \ldots + \begin{vmatrix} a_{n-1,n-1}, & a_{n-1,n} \\ a_{n,n-1}, & a_{nn} \end{vmatrix} \right\}.$$

$A_3 = \Sigma$ de tous les déterminants du 3e ordre que l'on peut former avec les termes de la diagonale principale et les autres coefficients des lignes et colonnes correspondantes $A_4 = \Sigma$ de tous les déterminants de 4e ordre, etc.

$$A_n = \begin{vmatrix} a_{11}, & a_{12}, & \ldots\ldots & a_{1n} \\ a_{21}, & a_{22}, & \ldots\ldots & a_{2n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{n1}, & a_{n2}, & \ldots\ldots & a_{nn} \end{vmatrix},$$

4. Appliquons cette propriété au déterminant qui forme le membre de gauche de l'équation (3); nous avons ici $z = -1$ en remarquant de plus que tous les termes d'un même coefficient A contiennent le facteur ω à la même puissance (3), s'écrira

$$(3') \qquad A'_n\omega^{2n} - A'^{n-1}\omega^{2(n-1)} + \ldots\ldots + A'_2(-1)^{n-2}\omega^4 + A'_1(-1)^{n-1}\omega^2 + (-1)^n = 0,$$

où, entre autres

$$A'_1 = \alpha_{11}M_1 + \alpha_{22}M_2 + \ldots\ldots + \alpha_{nn}M_n;$$

mais on a évidemment (1)

$$(4) \qquad \alpha_{11}M_1 = \frac{1}{\omega_1^2}, \quad \alpha_{22}M_2 = \frac{1}{\omega_2^2}, \quad \ldots\ldots \quad \alpha_{nn}M_n = \frac{1}{\omega_n^2},$$

donc

$$A'_1 = \frac{1}{\omega_1^2} + \frac{1}{\omega_2^2} + \ldots\ldots + \frac{1}{\omega_n^2},$$

et (3') s'écrit par conséquent aussi

$$(3'') \qquad A'_n\omega^{2n} - A'_{n-1}\omega^{2(n-1)} + \ldots\ldots + A'_2(-1)^{n-2}\omega^4 + (-1)^{n-1}\left(\frac{1}{\omega_1^2} + \frac{1}{\omega_2^2} + \ldots\ldots + \frac{1}{\omega_n^2}\right)\omega^2 + (-1)^n = 0.$$

Si, dans cette équation, on néglige les termes contenant les puissances de ω supérieures à la seconde, on obtient la relation

$$(5) \qquad \frac{1}{\omega_c^2} = \frac{1}{\omega_1^2} + \frac{1}{\omega_2^2} + \ldots\ldots + \frac{1}{\omega_n^2},$$

c'est-à-dire la formule de Dunkerley. Nous pouvons donc dire :

La formule de Dunkerley est le résultat approché que l'on obtient quand, dans l'équation générale qui donnerait les valeurs de la vitesse critique, on néglige les termes contenant les puissances de ω supérieures à la seconde.

En toute rigueur, cette proposition ne se trouve établie encore que sous les conditions restrictives énoncées en tête du paragraphe 2, je lui donne néanmoins d'emblée cette forme générale, car on verra plus loin qu'elle subsiste encore quand on s'affranchit de ces restrictions.

5. — Examinons d'abord la question de l'excentricité des roues, cette excentricité pouvant varier en direction dans le sens radial d'une roue à l'autre. On décomposera dans ce cas les forces centrifuges suivant deux directions arbitrairement choisies; pour chaque système de composantes on obtiendra un groupe d'équations analogues aux équations (2); les seconds membres ne seront plus nuls, il est vrai, mais la condition nécessaire et suffisante pour la vitesse critique sera encore exprimée par l'équation (3) et, par suite, toutes les conditions tirées de celle-ci subsistent sans changement.

6. — Considérons maintenant l'influence de l'obliquité des roues et des couples de redressement corrélatifs. On démontre facilement (voir, par exemple, Stodola. *Turbines à vapeur*) que si τ désigne l'inclinaison de la ligne élastique de l'arbre et θ le moment d'inertie de la roue par rapport à un diamètre, le moment du couple de redressement est donné par la relation

$$(6) \qquad \mathfrak{M} = -\tau\theta\omega^2,$$

à condition que l'inclinaison soit assez faible pour que l'on puisse poser $\sin\tau = \tau$, $\cos\tau = 1$. Le signe — indique que ce moment tend toujours à faire disparaître l'inclinaison τ.

Nous avons donc affaire à deux causes de déformation de l'arbre : un ensemble de forces centrifuges et un ensemble de couples. Comme les déformations considérées sont élastiques, il est permis d'appliquer le principe de superposition et d'additionner, par conséquent, les déformations partielles produites par chacune des causes pour obtenir la déformation totale.

Nous devons tenir compte ici non seulement des flèches, mais aussi des inclinaisons sur l'axe longitudinal. Les flèches dues aux forces se calculent comme plus haut à l'aide des coefficients d'influence α.

Pour obtenir les inclinaisons, il suffit de remarquer que le coefficient d'influence α_{xy} n'est autre chose que la flèche produite en X par l'application en Y d'une force égale à l'unité et que, par conséquent, l'inclinaison de

(1) Il suffit pour l'établir d'appliquer les équations (2) au cas où l'arbre n'est chargé que par une roue seulement.

Digitized by Google

la ligne d'influence en X, β_{xy}, est donnée par la relation

$$\beta_{xy} = \frac{\partial \alpha_{xy}}{\partial x}, \tag{7}$$

où x désigne le paramètre servant à définir la position du point.

Une force P appliquée en Y produit donc en X une inclinaison de la ligne élastique

$$\tau = \beta_{xy} P.$$

Quant aux déformations dues aux couples, nous appliquerons pour les déterminer la proposition suivante :

L'effet d'un couple de moment égal à l'unité en un point d'une pièce élastique est égal à la dérivée partielle de l'effet similaire produit au même endroit par une force égale à l'unité dont le point d'application est identique à celui du couple. La dérivée partielle est à prendre par rapport au paramètre qui définit la position de la force ou du couple.

Par effet, on peut entendre soit un déplacement linéaire, soit une rotation, soit même d'autres grandeurs géométriques ou mécaniques.

Dans le cas qui nous occupe, nous aurons donc pour la flèche produite en X par un couple unité appliqué en Y, c'est-à-dire pour le coefficient d'influence cherché

$$\gamma_{xy} = \left[\frac{\partial \alpha_{xy}}{\partial s}\right]_{s=s_y}, \tag{8}$$

et de même pour l'inclinaison

$$\delta_{xy} = \left[\frac{\partial \beta_{xy}}{\partial s}\right]_{s=s_y}, \tag{9}$$

mais en raison de (5), nous pouvons écrire aussi

$$\delta_{xy} = \left[\frac{\partial^2 \alpha_{xy}}{\partial x\, \partial s}\right]_{s=s_y}.$$

Remarquons, d'ailleurs, que, d'après (7)

$$\beta_{xx} = \frac{\partial \alpha_{xx}}{\partial x}$$

et d'après (8)

$$\gamma_{xx} = \left[\frac{\partial \alpha_{xx}}{\partial s}\right]_{s=s_y=x},$$

ces deux grandeurs sont évidemment identiques, on a donc

$$\beta_{xx} = \gamma_{xx}.$$

Les liaisons qui existent entre les coefficients α, β, γ et δ étant ainsi établies, nous pouvons former maintenant les équations qui remplacent les relations (2). Il vient

$$\begin{aligned}
y_1 &= \alpha_{11}C_1 + \alpha_{12}C_2 + \ldots + \alpha_{1n}C_n + \gamma_{11}\mathfrak{M}_1 + \gamma_{12}\mathfrak{M}_2 + \ldots + \gamma_{1n}\mathfrak{M}_n,\\
y_2 &= \alpha_{21}C_1 + \alpha_{22}C_2 + \ldots + \alpha_{2n}C_n + \gamma_{21}\mathfrak{M}_1 + \gamma_{23}\mathfrak{M}_2 + \ldots + \gamma_{2n}\mathfrak{M}_n,\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
y_n &= \alpha_{n1}C_1 + \alpha_{n2}C_2 + \ldots + \alpha_{nn}C_n + \gamma_{n1}\mathfrak{M}_1 + \gamma_{n2}\mathfrak{M}_2 + \ldots + \gamma_{nn}\mathfrak{M}_n,
\end{aligned}$$

et, de plus, si nous considérons les déformations angulaires

$$\begin{aligned}
\tau_1 &= \beta_{11}C_1 + \beta_{12}C_2 + \ldots + \beta_{1n}C_n + \delta_{11}\mathfrak{M}_1 + \delta_{12}\mathfrak{M}_2 + \ldots + \delta_{1n}\mathfrak{M}_n,\\
\tau_2 &= \beta_{21}C_1 + \beta_{22}C_2 + \ldots + \beta_{2n}C_n + \delta_{21}\mathfrak{M}_1 + \delta_{22}\mathfrak{M}_2 + \ldots + \delta_{2n}\mathfrak{M}_n,\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
\tau_n &= \beta_{n1}C_1 + \beta_{n2}C_2 + \ldots + \beta_{nn}C_n + \delta_{n1}\mathfrak{M}_1 + \delta_{n2}\mathfrak{M}_2 + \ldots + \delta_{nn}\mathfrak{M}_n.
\end{aligned}$$

Mais comme plus haut

$$C_1 = y_1 M_1 \omega^2, \quad C_2 = y_2 M_2 \omega^2, \quad \ldots\ldots$$

et d'après (6)

$$\mathfrak{M}_1 = -\tau_1 \theta_1 \omega^2, \quad \mathfrak{M}_2 = -\tau_2 \theta_2 \omega^2, \quad \ldots\ldots$$

nous arrivons donc au système d'équations suivant

$$\left\{\begin{aligned}
&(\alpha_{11}M_1\omega^2 - 1)\,y_1 + \alpha_{12}M_2\omega^2 y_2 + \ldots\ldots + \alpha_{1n}M_n\omega^2 y_n - \gamma_{11}\theta_1\omega^2\tau_1 - \ldots\ldots - \gamma_{1n}\theta_n\omega^2\tau_n,\\
&\alpha_{21}M_1\omega^2 y_1 + (\alpha_{22}M_2\omega^2 - 1)\,y_2 + \ldots\ldots + \alpha_{2n}M_n\omega^2 y_n - \gamma_{21}\theta_1\omega^2\tau_1 - \ldots\ldots - \gamma_{2n}\theta_n\omega^2\tau_n,\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&\alpha_{n1}M_1\omega^2 y_1 + \alpha_{n2}M_2\omega^2 y_2 + \ldots\ldots + (\alpha_{nn}M_n\omega^2 - 1)\,y_n - \gamma_{n1}\theta_1\omega^2\tau_1 - \ldots\ldots - \gamma_{nn}\theta_n\omega^2\tau_n,\\
&\beta_{11}M_1\omega^2 y_1 + \beta_{12}M_2\omega^2 y_2 + \ldots\ldots + \beta_{1n}M_n\omega^2 y_n - (\delta_{11}\theta_1\omega^2 + 1)\,\tau_1 - \ldots\ldots - \delta_{1n}\theta_n\omega^2\tau_n,\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&\beta_{1n}M_1\omega^2 y_1 + \beta_{2n}M_2\omega^2 y_2 + \ldots\ldots + \beta_{nn}M_n\omega^2 y_n - \delta_{n1}\theta_1\omega^2\tau_1 - \ldots\ldots - (\delta_{nn}\theta_n\omega^2 + 1)\,\tau_n.
\end{aligned}\right. \tag{10}$$

Ce système est de forme analogue aux équations (2'), mais comporte $2n$ inconnues : n inconnues y et n inconnues τ.

Ici encore les valeurs critiques de la vitesse sont celles qui annulent le déterminant d'ordre $2n$ formé par les coefficients des inconnues.

Ce déterminant présente les mêmes particularités que celui étudié plus haut (équation 3'), l'équation de condition à laquelle satisfait la vitesse critique est donc de la forme

$$B'_{2n}\omega^{4n} - B'_{2n-1}\omega^{4n-2} + \ldots\ldots + B'_2\omega^4 - B'_1\omega^2 + 1 = 0, \tag{11}$$

où les coefficients B' sont à former comme on l'a indiqué au paragraphe 3.

Digitized by Google

En particulier, on a

$$(12)\qquad B'_1 = \alpha_{11}M_1 + \alpha_{22}M_{22} + \ldots + \alpha_{nn}M_n - \delta_{11}\theta_1 - \delta_{22}\theta_2 - \ldots - \delta_{nn}\theta_n.$$

Pour nous rendre compte de la signification physique des termes négatifs qui entrent dans cette grandeur, supposons que l'arbre ne porte qu'une roue, par exemple la roue I et admettons que cette roue soit de masse négligeable ainsi que la force centrifuge qu'elle développe, tandis qu'au contraire, son moment d'inertie θ_1 soit appréciable, ainsi que ses effets. Ces conditions ne se trouvent jamais réalisées pratiquement, mais sont néanmoins utiles à introduire dans le calcul comme la suite le montre.

Les équations (10) se réduisent dans ce cas à l'unique relation

$$\delta_1\theta_1\omega^2 + 1 = 0,$$

d'où l'on tire la valeur particulière de ω

$$(13)\qquad \Omega_1^2 = -\frac{1}{\delta_{11}\theta_1},\quad \Omega_1 = i\sqrt{\frac{1}{\delta_{11}\theta_1}},\quad (i = \sqrt{-1}),$$

Ω_1 n'est autre chose que la vitesse critique — *imaginaire d'ailleurs* — due à l'inclinaison de la roue sur l'axe.

On voit dès lors que si l'on traite (11) comme (3') en négligeant les puissances de ω supérieures à la seconde, la vitesse critique de l'arbre, ω', dans le cas où l'on tient compte de l'obliquité des roues, est donnée par la relation

$$(14)\qquad \frac{1}{\omega'^2} = B'_1,$$

ou encore, eu égard à (4) et (13).

$$(15)\qquad \frac{1}{\omega'^2} = \frac{1}{\omega_1^2} + \frac{1}{\omega_2^2} + \ldots + \frac{1}{\omega_n^2} + \frac{1}{\Omega_1^2} + \frac{1}{\Omega_2^2} + \ldots + \frac{1}{\Omega_n^2}.$$

A condition de faire intervenir les vitesses imaginaires Ω, *la formule de Dunkerley se trouve donc bien vérifiée.*

Si, reprenant le cas de l'arbre portant une roue seulement, nous laissons tomber l'hypothèse faite plus haut relativement à la masse, les équations (10) deviennent

$$(\alpha_{11}M_1\omega^2 - 1)\,y_1 - \gamma_{11}\theta_1\omega^2\tau_1 = 0,$$
$$\beta_{11}M_1\omega^2 y_1 - (\delta_{11}\theta_1\omega^2 + 1)\,\tau_1 = 0,$$

et nous donnent comme équation de condition pour les valeurs de la vitesse critique de l'arbre avec influence de l'obliquité du disque

$$\alpha_{11}\delta_{11}M_1\theta_1\left[1 - \frac{\beta_{11}\gamma_{11}}{\gamma_{11}\delta_{11}}\right]\omega_1'^4 + (\alpha_{11}M_1 - \delta_{11}\theta_1)\,\omega_1'^2 - 1 = 0,$$

ou aussi

$$\frac{\omega_1'^4}{\omega_1^2\Omega_1^2}\left[1 - \frac{\beta_{11}^2}{\alpha_{11}\delta_{11}}\right] + \left[\frac{1}{\omega_1^2} + \frac{1}{\Omega_1^2}\right]\omega_1'^2 - 1 = 0,$$

le facteur entre [ ] qui multiplie le terme en $\omega_1'^4$ n'est généralement pas nul, de sorte que l'on n'a pas le droit — à moins d'admettre une erreur dont l'importance est examinée plus loin — de poser

$$\frac{1}{\omega_1^2} + \frac{1}{\Omega_1^2} = \frac{1}{\omega_1'^2}.$$

Si l'on passe outre et que l'on écrive par suite la formule de Dunkerley sous la forme

$$\frac{1}{\omega'^2} = \frac{1}{\omega_1'^2} + \frac{1}{\omega_2'^2} + \ldots + \frac{1}{\omega_n'^2},$$

on fait au fond deux applications successives de la formule de Dunkerley : une première application pour calculer les vitesses critiques dues à chaque roue, une seconde pour trouver la vitesse critique de l'ensemble.

On commet donc deux erreurs successives, dont il n'est pas possible de dire à priori si elles se compensent ou si, au contraire, elles s'ajoutent. Cette question est étudiée plus loin.

7. — **Cas de masses continues.** — Elles sont constituées soit par des roues infiniment rapprochées, soit par exemple par la masse propre de l'arbre. Soit dM la masse d'une de ces roues ou d'une tranche d'épaisseur infiniment petite dx dans le sens de l'axe ; soit $d\theta$ le moment d'inertie correspondant. Nous pouvons encore écrire en principe un système d'équation analogue à (10) mais avec une infinité d'équations. La condition à remplir pour qu'il y ait vitesse critique n'en demeure pas moins la même et les termes de cette équation de condition sont toujours formés d'après la même loi. Par conséquent, si on néglige de nouveau tous les termes contenant les puissances de ω supérieures à la seconde, on retrouve la relation (14)

$$\frac{1}{\omega'^2} = B_1',$$

où toutefois B'_1 contient, en raison de sa forme (12), la différence de deux infinités de termes et s'écrit par conséquent

$$(17)\qquad B_1' = \int_0^l \alpha_{xx}\,dm - \int_0^l \delta_{xx}\,d\theta.$$

Si les masses sont variables en fonction de x, les intégrales pourront être déterminées au besoin graphiquement (1). Dans le cas d'un arbre de section constante, nous pouvons poser en désignant par M_a la masse totale, par l sa longueur totale et par λ le rayon de giration,

$$(18)\qquad B_1' = \frac{M_a}{l}\int_0^l \alpha_{xx}\,dx - \frac{M}{l}\lambda^2\int_0^l \delta_{xx}\,dx.$$

(1) On reconnaît qu'il y a là, en germe, une nouvelle méthode de détermination graphique de la vitesse critique d'un arbre. Tout revient à savoir si la recherche des quelques valeurs de α_{xx} qui seraient nécessaires pour former l'intégrale demande plus de temps que les procédés actuellement en usage.

Digitized by Google

8. — **Si l'on avait affaire à la fois à un arbre et à plusieurs roues**, le terme B'_1 contiendrait **les deux intégrales** que nous venons **de calculer et les termes** calculés **à l'article 6. On trouverait donc pour la vitesse** critique du système

$$(19)\quad \frac{1}{\omega_c^2}=\frac{1}{\omega_1^2}+\frac{1}{\omega_2^2}+\ldots+\frac{1}{\omega_n^2}+\frac{1}{\Omega_1^2}+\frac{1}{\Omega_2^2}+\ldots+\frac{1}{\Omega_n^2}+\frac{1}{\omega_a^2}.$$

A la vérité, la vitesse critique ω_a de l'arbre qui figure dans cette relation n'est pas la valeur rigoureuse, mais celle qui résulte de l'application de la formule de Dunkerley à la détermination de la vitesse critique d'un solide de section constante. L'erreur est, dans tous les cas, insignifiante.

Les conditions sur lesquelles repose la formule de Dunkerley se trouvent ainsi établies pour les divers cas qu'il y avait lieu de considérer.

9. — **Etude de l'erreur de la formule de Dunkerley**. — Reprenons l'équation (12), ou éventuellement l'équation (3'), la solution de Dunkerley nous donne comme valeur approché ω_c^2 du carré de la vitesse critique la relation

$$\omega_c^2=\frac{1}{B_1'},$$

tandis que la valeur exacte ω_0^2 est racine de l'équation complète

$$\omega^2=\frac{1+B_2'\omega^4-B_3'\omega^6+\ldots}{B_1'}=\omega_c^2+y,$$

où

$$y=\frac{B_2'\omega^4-B_3'\omega^6+\ldots}{B_1'}=f(\omega^2).$$

Considérons un système d'axes rectangulaires ω^2, y et construisons (fig. 1) la droite

$$(20)\qquad y=\omega^2-\omega_c^2,$$

et la courbe

$$(21)\qquad y=f(\omega^2).$$

On vérifie facilement que celle-ci est tangente à l'axe des ω^2 à l'origine et qu'en raison de la nature de la fonction $f(\omega^2)$ qui n'a pas de racines comprises entre 0 et ω_c^2, elle se présente soit sous la forme OA, soit sous la forme OA'. L'abscisse de l'intersection X ou X' de la droite (20) et de la courbe (21) est évidemment égale à la valeur exacte ω_0^2 cherchée, par suite, *l'erreur* $\Delta=\omega_0^2-\omega_c^2$ *que comporte la solution de Dunkerley est égale à l'ordonnée* y_0 *du point d'intersection* X. On voit de plus *que la correction à apporter à* ω_c^2 *pour obtenir* ω_0^2 *est toujours du même signe que la fonction* $y=f(\omega^2)$.

Posons pour plus de commodité

$$\Delta=\varepsilon\omega_c^2$$

la condition trouvée pour l'erreur, $\Delta=y_0$, nous donne l'équation

$$(22)\quad \varepsilon\omega_c^2=\omega_c^2\left[B_2'\omega_c^4(1+\varepsilon)^2-B_3'\omega_c^6(1+\varepsilon)^3+\ldots\right],$$

d'où l'on peut tirer ε.

Dans le cas où ε est assez petit pour qu'on en puisse

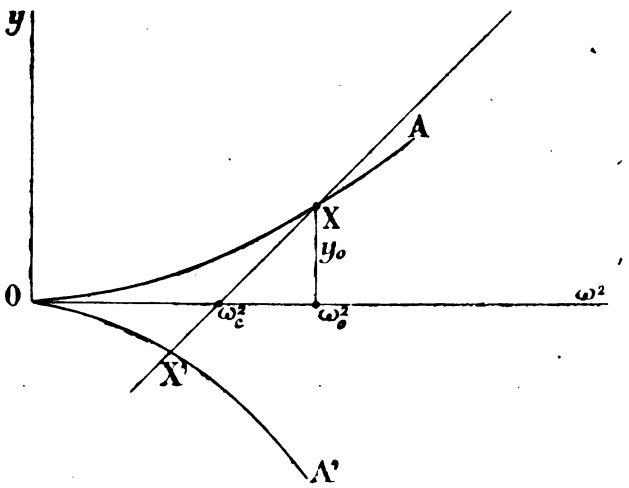


Fig. 1.

négliger les puissances supérieures à la première, on peut écrire plus simplement

$$\varepsilon=B_2'\omega_c^4(1+2\varepsilon)-B_3'\omega_c^6(1+3\varepsilon)+\ldots.$$

Le plus souvent, dans les applications, les coefficients B'_3 et suivants sont pratiquement négligeables devant B'_2; on obtient alors le relation très simple

$$(23)\qquad \varepsilon=\frac{B_2'\omega_c^4}{1-2B_2'\omega_c^4}.$$

L'erreur rapportée à ω et non plus à ω^2 est sensiblement la moitié de ε.

On peut faire, quant au signe de l'erreur, quelques remarques générales. Le terme B'_2, dont dépend avant tout l'erreur et le signe de la fonction y, est formé par une somme de déterminants du second ordre.

Si l'on fait abstraction de l'obliquité des roues, B'_2 est de la forme

$$(24)\qquad \Sigma\left(\alpha_{xx}\alpha_{yy}-\alpha_{xy}^2\right)M_xM_y.$$

On peut s'assurer sans difficulté que chacun de ces déterminants est toujours positif, B'_2 l'est donc aussi; de même que y; dans ce cas, par conséquent, la valeur ω_c^2 donnée par la formule de Dunkerley *est toujours plus petite que la valeur exacte* ω_0^2.

Si l'on tient compte de l'obliquité des roues, B'^2 renferme en plus des termes (24) de nouveaux termes, les uns de la forme

$$(25)\qquad -\Sigma\left(\alpha_{xx}\beta_{yy}-\alpha_{xy}\beta_{yx}\right)M_x\theta_y,$$

Digitized by Google

et d'autres de la forme

$$(26) \qquad \Sigma\,(\delta_{xx}\delta_{yy} - \delta^2_{xy})\,\theta_x\theta_y.$$

Tous les déterminants qui y figurent sont généralement positifs. D'autre part, le rayon de giration des roues étant généralement petit comparé à la portée de l'arbre, les termes (25) et (26) sont secondaires et, par suite, le signe — des termes (25) ne suffit pas à changer le signe de B'_2. La fonction y demeure positive, et la conclusion à laquelle nous arrivions plus haut subsiste encore dans ce cas. On voit de plus que B'_2 sera plus petit et, par conséquent, l'approximation meilleure que dans le cas précédent.

On ne peut toutefois formuler ici une conclusion absolument catégorique, car dans certains cas particuliers, par exemple lorsque la portée est relativement faible, B'_2 peut changer de signe par suite des termes (25) et ω_0^2 peut être plus petit que ω_c^2.

C'est ce qui se produit si l'on envisage le cas d'une roue seulement, B'_2 se réduit à un seul terme de la forme 25, et devient donc négatif. On a par conséquent $\omega_0^2 < \omega_c^2$.

10. — **Applications**. — Nous allons rapidement appliquer les résultats qui précèdent à quelques cas particuliers. Nous supposerons que l'arbre considéré est de section constante et qu'il repose librement sur des appuis, soit :

l la distance des appuis ;

I le moment d'inertie de la section transversale ;

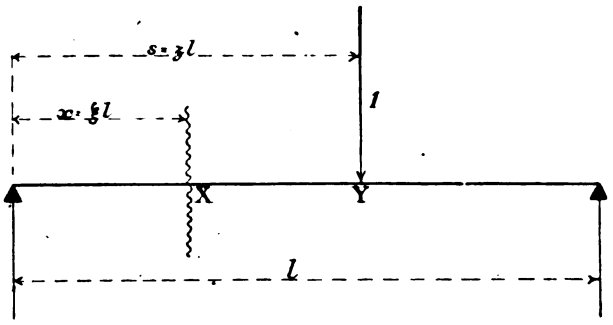


Fig. 2.

E le coefficient d'élasticité ;

$x = \xi l$, $s = \zeta l$.

On trouve facilement à l'aide de l'équation différentielle de la ligne élastique les valeurs des coefficients $\alpha, \beta, \gamma, \delta$. Il y a lieu naturellement de considérer séparément les deux branches de la ligne élastique de part et d'autre de Y. Nous avons groupé ces coefficients dans le tableau ci-dessous (1).

I. Branche gauche. $x < s$	II. Branche droite. $x > s$
$\alpha_{xy} = \frac{l^3}{6IE}\,\xi\,(1-\zeta)\,(\xi^2 - 2\zeta + \zeta^2)$,	$\alpha_{xy} = \frac{l^3}{6IE}\,\zeta\,(1-\xi)\,(\zeta^2 - 2\xi + \xi^2)$,
$\alpha_{xx} = -\frac{l^3}{3IE}\,\xi^2(1-\xi)^2$.	
$\beta_{xy} = \frac{l^2}{6IE}\,(1-\zeta)\,[(1-\zeta)^2 - 1 + 3\xi^2]$,	$\beta_{xy} = \frac{l^2}{6IE}\,\zeta\,[1 - \zeta^2 - 3\,(1-\xi)^2]$,
$\beta_{xx} = -\frac{l^2}{3IE}\,\xi\,[1-\xi]\,[1-2\xi]$.	
$\gamma_{xy} = -\frac{l^2}{6IE}\,\xi\,[3\,(1-\zeta)^2 - (1-\xi^2)]$,	$\gamma_{xy} = \frac{l^2}{6IE}\,(1-\xi)\,[(1-\xi)^2 - 1 + 3\zeta^2]$,
$\gamma_{xx} = -\frac{l^2}{3IE}\,\xi\,[1-\xi]\,[1-2\xi]$.	
$\delta_{xy} = \frac{l}{6IE}\,[1 - 3\xi^2 - 3\,(1-\zeta)^2]$,	$\delta_{xy} = \frac{l}{6IE}\,[1 - 3\zeta^2 - 3\,(1-\xi)^2]$,
$\delta_{xx} = \frac{l}{6IE}\,[1 - 3\xi^2 - 3\,(1-\xi)^2]$.	

On voit que l'on a bien, entre autres

$$\alpha_{xy} = \alpha_{yx}, \quad \beta_{xy} = -\beta_{yx}, \quad \gamma_{xx} = \beta_{xx},$$

comme l'exigent les propriétés générales des coefficients d'influence.

a) Cas d'une masse continue, par exemple d'un arbre de diamètre constant d.

Nous avons ici d'après (18) et le tableau précédent

$$B'_1 = \frac{M_a}{l}\int_0^l \alpha_{xx}\,dx - \frac{M_a}{l}\lambda^2\int_0^l \delta_{xx}\,dx = \frac{M_a}{l}\left[\frac{l^4}{90\,IE} - \frac{l^2\lambda^2}{6IE}\right].$$

Mais $\lambda^2 = d^2 : 16$, aussi le terme en λ est-il négligeable ; il vient donc d'après Dunkerley

$$\omega_c = \sqrt{\frac{90\,IE}{M_a l^3}} = 9{,}45\sqrt{\frac{IE}{M_a l^3}},$$

tandis que la valeur exacte résultant de l'intégration

(1) Il est bien entendu que, comme plus haut, le premier indice des coefficients indique le *lieu* où se mesure l'effet considéré, tandis que le second indice désigne le point d'application de la force ou du couple qui le produit.

Digitized by Google

de la ligne élastique de l'arbre donne (voir par exemple Stodola, Turbines à vapeur)

$$\omega_0 = 9{,}86\sqrt{\frac{IE}{M_a l^3}},$$

l'erreur est de 4,15 pour 100. Servons-nous pour la déterminer de la théorie établie à l'article (10); il nous faut calculer ici B'^2 qui, si nous négligeons l'effet de l'obliquité des tranches, prend la forme

$$B'^2 = \frac{M_a^2}{l^2}\left\{\int_0^l \alpha_{xx}\mathrm{d}x\int_0^l \alpha_{yy}\mathrm{d}x - \int_0^l \mathrm{d}x\int_0^l \alpha^2_{xy}\mathrm{d}x\right\}.$$

On trouve, tous calculs faits,

$$B'^2 = \frac{M_a^2 l^6}{14.8100\, I^2E^2} = \frac{1}{14\,\omega_c^4},$$

et, par suite de (23),

$$\varepsilon = \frac{1}{14}\cdot\frac{1}{1-\frac{1}{7}} = \frac{1}{12} = 8{,}35 \text{ pour } 100,$$

d'où

$$\omega_{\text{corrigé}} = 1{,}04\,\omega_c = 9{,}83\sqrt{\frac{IE}{M_a l^3}}.$$

C'est à 0,003 près, la solution exacte.

Je n'ai pas connaissance que l'on ait jamais fait jusqu'ici l'application de la formule de Dunkerley au cas de masses continues et, par conséquent, le calcul qui précède présente un certain intérêt, tant en raison de l'approximation déjà très satisfaisante donnée par la formule approchée, que par la possibiliié d'obtenir le résultat exact en déterminant la correction.

b) Influence de l'obliquité du disque dans le cas d'un arbre chargé d'une roue seulement.

Soit M la masse du disque, $\theta = M\lambda^2$ son moment d'inertie.

$\left(\lambda^2 = \frac{D^2}{16}\right.$ dans le cas d'un disque de diamètre D et d'épaisseur constante).

A la fin de l'article 6, nous avons mis l'équation complète pour le calcul de la vitesse critique sous la forme

$$\frac{\omega_1'^4}{\omega_1^2\Omega_1^2}\left[1-\frac{\beta_{11}^2}{\alpha_{11}\delta_{11}}\right]+\left[\frac{1}{\omega^2}+\frac{1}{\Omega^2}\right]\omega_1'^2 - 1 = 0,$$

où

$$\omega_1^2 = \frac{1}{\alpha_{11}M_1},\quad \Omega_1^2 = -\frac{1}{\delta_{11}\theta_1}$$

On peut écrire aussi

$$\Omega_1^2 = -\frac{\alpha_{11}}{\alpha_{11}\delta_{11}M_1\lambda^2} = -\frac{\alpha_{11}}{\delta_{11}\lambda^2}\,\omega_1^2,$$

et par suite

$$\frac{\omega_1'^2}{\omega_1^4}\lambda^2\left[\frac{\delta_{11}}{\alpha_{11}}-\frac{\beta_{11}^2}{\alpha_{11}^2}\right]+\frac{\omega_1'^2}{\omega_1^2}\left[1-\frac{\delta}{\alpha}\lambda^2\right]-1=0,$$

ou encore, en posant $\omega'_1 : \omega_1 = x$, et en introduisant les valeurs de α, β et δ,

$$\frac{1}{\xi(1-\xi)}\frac{\lambda^2}{l^2}x^4+\left[1-\frac{1-3\xi+3\xi^2}{\xi^2(1-\xi)^2}\cdot\frac{\lambda^2}{l^2}\right]x^2-1=0.$$

Le tableau ci-dessous donne les valeurs exactes et les valeurs approchées (formule de Dunkerley) de x dans les deux alternatives.

$$\frac{\lambda^2}{l^2}=\frac{1}{16},\quad l=D \quad\text{et}\quad \frac{\lambda^2}{l^2}=\frac{1}{144},\quad l=3D,$$

et pour diverses positions de la roue sur l'arbre.

			$\xi=0.1$	$=0,2$	$=0,223$	$=0,3$	$=0,4$	$=0,5$
$l=D$	$\frac{\lambda^2}{l^2}=\frac{1}{16}$	x_{exact}	3,13	1.41	1.39	1.096	1.018	1, 0
		$x_{\text{appr.}}$	imag.	imag.	∞	1.45	1,20	1,155
$l=3D$,	$\frac{\lambda^2}{l^2}=\frac{1}{144}$	x_{exact}	1,155	1,05	—	1,01	1,002	1,0
		$x_{\text{appr.}}$	1,243	1,08	—	1.031	1,019	1,015

Il confirme le résultat indiqué à l'article 10, relativement au sens de l'erreur. Il montre de plus que, dans le cas où la portée est faible, la formule de Dunkerley donne des résultats d'une précision tout à fait insuffisante. On voit même qu'elle conduit à cette conclusion qu'il y aurait une certaine position du disque pour laquelle le couple de redressement neutraliserait complètement l'effet de la force centrifuge et pour laquelle ω deviendrait par suite ∞.

Dès que, par contre, la portée est relativement grande par rapport à λ, l'erreur reste dans des limites très acceptables, exception faite des positions voisines des appuis.

c) Influence de la position des roues sur l'erreur. Cas de deux roues. — On fait abstraction de l'obliquité des roues. On reconnaît immédiatement en examinant la formule (23) que la grandeur de l'erreur dépend de la position des roues, car B'_2 varie avec celle-ci. Voici par exemple les résultats que l'on obtient quand on fait les calculs dans le cas de deux roues de même masse, en supposant l'une des roues fixe tandis que l'autre vient occuper successivement toutes les positions possibles le long de l'arbre. On a envisagé deux alternatives : 1° la roue fixe est calée au milieu de l'arbre, $\xi = 0{,}5$; 2° la roue fixe est calée au point $\xi = 0{,}3$ (courbes I et II, fig. 3).

La variation de l'erreur avec la position des roues est, comme on le voit, très notable, c'est là d'ailleurs un fait que l'expérience a mis depuis longtemps en évidence.

d) Pour terminer, établissons l'équation complète donnant la vitesse critique dans le cas d'un arbre

Digitized by Google

chargé de deux disques identiques d'épaisseur constante et de diamètre D.

Prenons $l = 3D$, $\xi_1 = 0{,}3$, $\xi_2 = 0{,}7$.

On trouve tous calculs faits

$$0{,}0009\frac{\omega^8}{\omega_1^2} - 0{,}0135\frac{\omega^6}{\omega_1^6} - 0{,}186\frac{\omega^4}{\omega_1^4} + 1{,}884\frac{\omega^2}{\omega_1^2} - 1 = 0;$$

et si l'on faisait abstraction de l'obliquité des roues,

$$-0{,}3\frac{\omega^4}{\omega_1^2} + 2\frac{\omega^2}{\omega_1^2} - 1 = 0,$$

où ω_1 = vitesse critique due à une roue (sans effet de l'obliquité).

La formule de Dunkerley nous donne :

(sans effet de l'obliquité) .	$\omega_c = 0{,}707\,\omega_1$.	erreur = 5,48 %
(avec effet de l'obliquité) .	$\omega_c = 0{,}729\,\omega_1$.	= 2,54 %
l'équation complète (sans effet de l'obliquité)	$\omega_c = 0{,}737\,\omega_1$.	= 1,47 %
l'équation avec effet de l'obliquité, arrêtée au terme en ω^4 (formule 23).	$\omega_c = 0{,}748\,\omega_1$.	= 0 %
équation complète	$\omega_c = 0{,}748\,\omega_1$.	= 0 %

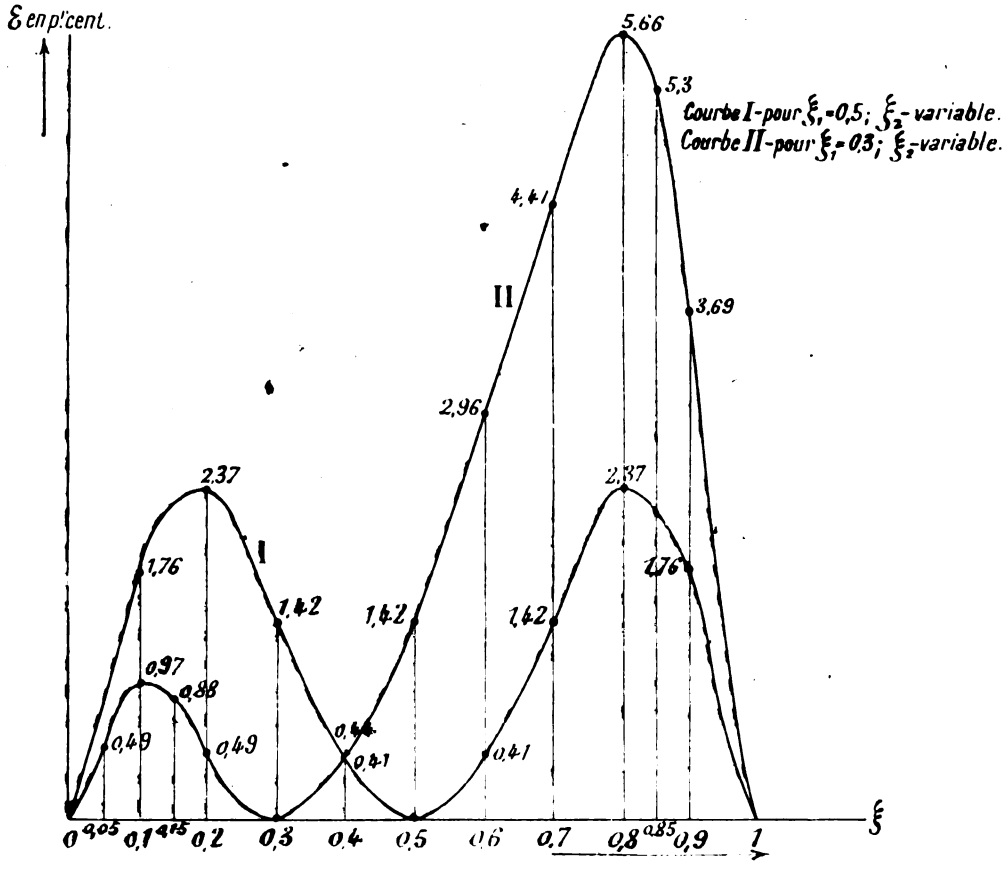


Fig. 3.

On voit qu'effectivement les termes contenant les puissances supérieures de ω ne jouent aucun rôle et que la relation 23 suffit amplement pour calculer l'erreur. Il en est naturellement autrement si l'on se propose de calculer les vitesses critiques supérieures. La considération de l'équation complète devient alors indispensable.

E. Hahn.

Digitized by Google

Revues, analyses et informations

Influence des diélectriques sur les tensions disruptives (1).

I. — Importance du phénomène. — La tension nécessaire à la production d'une étincelle entre deux électrodes est réduite par la présence d'un diélectrique au voisinage d'une des électrodes, sous certaines conditions que l'auteur établit dans le travail que nous résumons.

Le phénomène est d'une importance considérable dans la précipitation électrique des poussières et des fumées dans les gaz, parce que la différence de potentiel qui peut être maintenue entre les électrodes est ainsi réduite et que le rendement de l'opération l'est également.

Comme on le sait, on réalise la précipitation électrique des poussières et des fumées dans les gaz en faisant passer ces gaz dans le champ électrique compris entre deux électrodes, l'une de faible surface (*électrode de décharge*), telle qu'un fil; l'autre de surface relativement grande (*électrode collectrice*), telle qu'un cylindre ou un plan parallèle au fil.

On porte l'électrode de décharge à un potentiel élevé et on met au sol l'électrode collectrice, le champ entre les deux ayant une direction unique. Les poussières ou les fumées sont repoussées par l'électrode de décharge et elles se précipitent sur l'électrode collectrice.

On n'avait pas tout d'abord reconnu que ces dépôts abaissent le rendement de l'opération, en sorte que certains résultats avaient paru tout à fait anormaux. Ainsi, une petite installation montée pour précipiter une fumée non conductrice, avait fonctionné avec un succès complet pendant quelques heures, c'est-à-dire jusqu'à ce que les électrodes collectrices fussent recouvertes d'un dépôt de fumée, après quoi le rendement de la précipitation avait baissé rapidement. On avait également remarqué que, dans certains cas, les particules de fumée semblaient repoussées par l'électrode de décharge vers l'électrode collectrice, mais sans s'y déposer réellement; elles se déplaçaient avec le gaz, parallèlement à l'électrode et à une faible distance; dans ces conditions, on apercevait parfois dans l'obscurité une faible lueur sur l'électrode collectrice.

Dans plusieurs cas, la pratique a montré les avantages de l'humidité au point de vue du perfectionnement et il paraît désirable de déterminer les raisons de ce fait.

Aussi l'auteur s'est-il proposé d'étudier l'influence de diverses substances sur la tension qui peut être maintenue entre l'électrode de décharge et l'électrode collectrice mise au sol. Les résultats obtenus avec un fil comme électrode de décharge et un cylindre coaxial comme électrode collectrice ont été trouvés analogues à ceux que fournissent une pointe et un plateau. Les résultats exposés ci-dessous sont relatifs au système constitué par une pointe et un plateau.

II. — Dispositif utilisé pour les essais. — Le dispositif utilisé pour l'étude du phénomène est représenté sur la figure 1 :

GP désigne le plateau mis au sol; P, une pointe métallique; SG_1, un éclateur destiné à la mesure des tensions maximum; R, un redresseur constitué par un disque isolant D, de 76 cm de diamètre, tournant synchroniquement avec le courant alternatif et portant sur sa périphérie des segments métalliques S; B_1, B_2, B_3, B_4, des plaques métalliques fixes de 15 cm de long (B_1 et B_2 sont reliées à travers les bobines de réactance C, C aux bornes à haute tension du transformateur T; B_3 est relié à la pointe P et B_4 est mis au sol); T, un transformateur de 5 kw, 110 à 100 000 v,

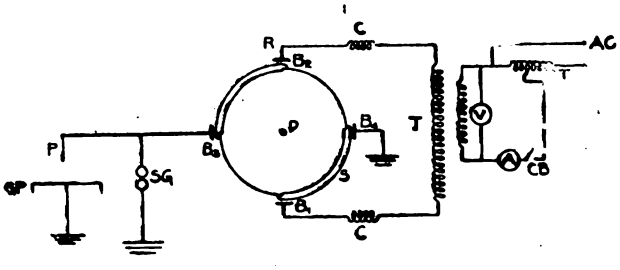


Fig. 1. — Dispositif expérimental de E.-R. Wolcott pour l'étude de l'influence des diélectriques sur la décharge disruptive.

dont la tension primaire est réglée par l'auto-transformateur AT, relié à la source de courant AC; le circuit primaire porte un voltmètre V, un ampèremètre A et un interrupteur CB.

La méthode suivie dans les essais consiste à élever graduellement la tension, par réglage de l'auto-transformateur, jusqu'à ce qu'une décharge disruptive se produise entre la pointe et le plateau; la tension pour laquelle cette décharge se produit est mesurée par l'éclateur SG_1 (sphères de 12,5 cm de diamètre).

Le plateau est assez grand pour empêcher qu'un arc s'établisse entre ses bords et la pointe. La distance de la pointe au plateau était, dans la plupart des cas, de 6 cm.

III. — Influence de la polarité de la pointe sur la tension disruptive. — Le tableau I permet de comparer les tensions qui produisent la décharge disruptive suivant la polarité de la pointe.

Tableau I. — *Tension disruptive entre pointe et plateau.*

Polarité de la pointe.	Tension.	Nature de la décharge.	Remarques.
Négative.	136 kv	Arc.	Première décharge.
Id.	120	Id.	Valeur minimum.
Positive.	45	Id.	Id.
Id.	42	Étincelle.	Id.

Comme Faraday l'avait le premier remarqué, la tension nécessaire pour provoquer la première étincelle est supérieure à celle qui est ensuite nécessaire (voir les deux premières indications du tableau I).

La différence entre les tensions disruptives suivant que la pointe est négative ou positive a été utilisée pour l'établissement d'un redresseur de courants à haute tension (1).

IV. — Influence sur la tension disruptive de diverses substances déposées sur le plateau. — La pointe étant négative l'auteur a disposé diverses substances sur le plateau mis au sol et mesuré la tension disruptive. Quelques-

(1) E.-R. Wolcott. *Physical Review*, octobre 1918, 2e série, t. XII, p. 281-292, 300 mots, 4 fig., 8 tabl.

(1) E.-R. Wolcott et C.-J. Erickson. *Phys. Rev.* juin 1917, 2e série, t. IX, p, 480.

Digitized by Google

uns des résultats obtenus ont été reportés dans le tableau II.

TABLEAU II. — *Influence des diélectriques sur la tension disruptive entre une pointe négative et un plateau mis au sol.*

Gras de diélectrique	130 kv
Mica	50
Soufre	50
Coton de verre	50
Toile vernie	70
Papier filtre	90
Amiante	100
Papier à écrire	118
Papier à écrire plissé	90
Bords d'une lame de verre	65

Ces mesures ne doivent être considérés que comme qualitatives, la tension de disrupture dépendant non seulement de la nature de la substance, mais des conditions suivant lesquelles elle agit. Ainsi une lame de verre reposant sur la plaque et la recouvrant complètement augmente naturellement la tension nécessaire à la production d'un arc ; mais si le verre est disposé de manière que les bords viennent sous la pointe, l'arc s'établit pour une tension beaucoup plus faible que lorsque le verre est enlevé. De même, quand on dispose sur la plaque une feuille de papier lisse, la tension disruptive n'est pas beaucoup altérée, mais quand le papier est plissé, ou qu'il a été troué, la tension est réduite.

Avec un montage soigné, il est possible de maintenir une tension qui ne produise pas une décharge disruptive, mais seulement une décharge par effluves. L'auteur l'a observée et photographiée en utilisant une feuille de papier percée d'une ouverture de 1 cm de diamètre non située exactement sous la pointe ; la pointe étant à 12,7 cm du plateau mis au sol, la lueur apparaissait pour une tension de 60 kv et l'arc éclatait pour 71 kv ; la lueur était cylindrique et suivait les contours de l'ouverture percée dans le papier. Si le papier est humide ou si on le recouvre d'un écran métallique mis au sol, la lueur n'apparaît pas et la tension disruptive n'est pas abaissée.

Le tableau III indique les résultats obtenus quand on décharge le diélectrique interposé.

TABLEAU III. — *Résultats obtenus quand le diélectrique est déchargé.*

Substance.	Tension.	Remarques.
Écran de 100 mailles.	116 kv	Posé directement sur le plateau.
Mica (sec)	50	Id. Id.
Ecran mis au sol sur le mica	116	Id. Id.
Fleur de soufre	50	Sèche.
Id.	112 kv	Dans une atmosphère humide.
Mica	112	Id. Id.

D'ailleurs l'étincelle que peut fournir le mica après l'avoir retiré du plateau montre bien qu'il s'accumule sur le diélectrique une charge considérable.

Le tableau IV permet de comparer l'action exercée par le mica suivant les positions qu'on lui donne dans le champ compris entre la pointe et le plateau mis au sol.

On voit que le mica n'exerce qu'une action assez faible, sauf quand il est près de la pointe. Il semble qu'il y ait une certaine position, au voisinage du plateau, qui donne le plus grand abaissement de la tension disruptive ; ce n'est pas quand le mica est presque contre le plateau, mais quand il est à 1 mm environ au-dessus.

TABLEAU IV. — *Action du mica suivant sa position dans le champ.*

Tension.	Décharge.	Remarques.
120 kv	Arc.	Pas de mica.
122	Id.	Mica près de la pointe.
123	Id.	Mica à mi-chemin entre la pointe et le plateau.
65	Id.	Mica près du plateau.
50	Étincelle.	Mica près du plateau.

La quantité de diélectrique nécessaire pour produire l'abaissement de la tension de décharge est très faible. Dans le cas d'une poussière contenant 20 pour 100 de soufre, on a obtenu les résultats indiqués dans le tableau V.

TABLEAU V. — *Densité superficielle du diélectrique et tension de rupture.*

Densités en mg : cm².	Tensions.
0	130 kv
0,91	130
5,74	74
8,28	60
19,14	50

Une proportion d'humidité de 2,25 pour 100 dans la poussière ne suffit pas à éliminer l'effet précédent ; mais une proportion de 2,91 pour 100 élève la tension disruptive à sa valeur normale, c'est-à-dire à la valeur obtenue quand il n'y a pas de poussière sur le plateau. L'influence de l'humidité a été notée dans plusieurs cas ; avec l'oxyde de zinc comme diélectrique, 1 pour 100 d'humidité suffit à éliminer l'abaissement de la tension.

Toutes les fois qu'on a observé un abaissement de la tension disruptive, c'est qu'une portion du plateau mis au sol était recouverte d'une substance non conductrice. Quand on rendait la substance conductrice, par exemple, en l'humectant d'eau, l'abaissement disparaissait.

IV. CONCLUSIONS. — Dans le cas d'une décharge dirigée se produisant entre une pointe et un plateau métalliques, la pointe étant négative, les essais effectués montrent qu'un diélectrique disposé sur le plateau emmagasine une charge dont le potentiel peut être suffisant pour ioniser le gaz environnant et produire une lueur qui est l'indice d'une décharge positive. Dans cette lueur la conductibilité électrique est meilleure que dans les autres portions du gaz, d'où résulte un abaissement de la tension nécessaire à la production de la décharge.

Cependant, pour la production de cet effet, l'état de la substance intervient, au moins autant que sa composition. Il ne suffit pas que la substance soit capable de retenir une charge électrique, mais il est essentiel que sa surface ait une certaine discontinuité (surface poreuse ou rugueuse).

La rugosité de la surface n'intervient que pour les feuilles minces, comme le papier, qui peuvent être piquées par la décharge. Une lame épaisse de verre rugueux recouvrant le plateau tout entier n'abaisse pas la tension disruptive (au contraire, elle l'augmente).

L'influence de la vapeur d'eau atmosphérique est également très nette. Pendant la saison humide, la plupart des substances ne produisent aucun abaissement de la tension disruptive.

A. B.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

L'éclairage électrique au théâtre

S'il est une application dans laquelle les nombreux avantages de l'électricité ont rendu son adoption presque exclusive et obligatoire, c'est bien l'éclairage au théâtre, tant celui de la scène que celui de la salle. Outre la sécurité qui résulte de son emploi, seule l'électricité permet de réaliser les jeux de lumière prestigieux exigés par les mises en scène modernes. Il était donc, avons-nous pensé, intéressant de faire connaître à nos lecteurs en quoi consiste l'installation d'éclairage d'un grand théâtre. Après quelques indications d'ordre général, nous décrirons celle qui existe au Théâtre National de la Comédie-Française, installation la plus récemment exécutée à Paris et qui actuellement peut être considérée comme le type le plus complet et le plus moderne.

Progrès successifs de l'éclairage au théâtre. — Le théâtre antique donnait, comme le cirque, toutes ses représentations en plein jour. Les moyens de produire l'éclairage artificiel furent pendant si longtemps insuffisants qu'il fallut nécessairement renoncer à jouer sur des scènes fermées à la lumière naturelle.

Ce n'est que vers le milieu du XVIe siècle, à la fin du règne de François Ier croyons-nous, qu'on vit apparaître la chandelle de suif si fuligineuse (1) qui semble avoir été employée jusqu'en 1720.

Gâtés par les merveilles de nos jours, nous nous représentons bien mal les chefs-d'œuvre de Corneille, puis ceux de Racine et de Molière joués avec un luminaire aussi primitif.

A la chandelle de suif succéda la bougie en cire d'abeille, puis les lampes à huile dont le type le plus parfait fut celui d'Argand Quinquet.

Enfin, vers 1820, apparut le gaz de houille ; le théâtre de l'Odéon, à Paris, fut le premier à utiliser ce nouveau mode d'éclairage qui, pour le public de l'époque, dut sembler la perfection.

Avec lui deviennent faciles à réaliser les effets de lumière; le matériel scénique s'accroît; nous voyons apparaître les herses pour l'éclairage des frises, et enfin la centralisation en un point de la scène de tous les robinets commandant les diverses tuyauteries par lesquelles le gaz est amené aux appareils d'éclairage : herses, rampes, portants et grand lustre; ce groupement reçut du fait de son aspect le nom de « *jeu d'orgue* ».

De perfectionnement en perfectionnement, aux simples effets de jour et de nuit obtenus en agissant sur les robinets du jeu d'orgue, viennent s'ajouter des effets de lumière colorée. D'ingénieux mécanismes présentent au moment voulu devant les becs de gaz des verres ou des feuilles de mica de couleur appropriée à l'effet cherché.

L'éclairage, le *luminaire* comme on l'appelle au théâtre, prend une place de plus en plus importante, les grandes mises en scène deviennent possibles et le spectateur peut voir dans la même pièce le jour pluvieux de l'hiver ou le chaud soleil d'une belle journée d'été, la nuit bleue tout étoilée, le vert des allées ombragées, le rougeoiement de l'aurore ou celui de l'incendie.

Tous les théâtres de France et de l'étranger furent équipés de la sorte, et pendant plus d'un demi-siècle l'éclairage au gaz n'eut pas de rival sur la scène.

Cependant, en 1840, Foucault imagine son régulateur à arc, et dès 1846 l'électricité fait une timide apparition à l'Opéra. C'est une batterie de 50 éléments Bunsen qui fournit le courant à un projecteur Duboscq. Ce n'était encore pour le gaz qu'un concurrent bien négligeable. Il fallut attendre trente ans la géniale invention de Gramme qui allait révolutionner l'industrie électrique.

Peu à peu, un certain nombre de grands théâtres reçoivent une installation électrique : l'Hippodrome en 1878, l'Opéra en 1883, installations d'abord sommaires, souvent mixtes avec le gaz, qui conserve de nombreux partisans.

Un événement douloureux devait porter le dernier coup au gaz. La catastrophe de l'Opéra-Comique, en 1887, changea complètement la situation en montrant, après beaucoup d'autres, les dangers qu'il présentait.

Successivement tous les théâtres durent remanier complètement leur installation d'éclairage, et l'on peut affirmer que de nos jours ceux qui ont conservé l'éclairage au gaz sont l'exception, et que des circonstances tout à fait spéciales les ont seules empêché de recourir à l'électricité.

(1) Au commencement du XVe siècle, fut fondé, dans une annexe de l'hôpital de la Trinité (rue Saint-Denis), le premier théâtre fixe et couvert. Les représentations avaient lieu les dimanches et fêtes de midi à cinq heures. Jusqu'à cette époque, elles avaient toujours eu lieu sur les places publiques, sur les parvis des églises ou dans leur intérieur.

En 1543, fut bâtie, dans les dépendances de l'Hôtel de Bourgogne (rue Mauconseil), une salle qui devait être le berceau de la Comédie-Française. L'éclairage durant les représentations consistait en une rangée de chandelles qu'il fallait moucher souvent pour en raviver la clarté fumeuse. Il y avait, en outre, au-dessus des acteurs, un porte-flambeau à quatre branches suspendu en l'air et muni de quatre grosses bougies.

Digitized by Google

I. — **Généralités**. — Une installation d'éclairage électrique de théâtre doit présenter deux qualités absolument indispensables : *le maximum de sécurité dans le fonctionnement; la continuité parfaite* : pas d'interruptions intempestives, pas d'intermittences.

La première exige simplement beaucoup de soins dans l'installation et la connaissance approfondie des besoins des mises en scène modernes.

La deuxième est aujourd'hui partout à peu près réalisée par la sécurité que donne aux théâtres leur alimentation par des réseaux urbains d'électricité où toutes les précautions sont prises pour éviter un arrêt du fonctionnement.

Les règlements prescrivent cependant de prévoir un éclairage de secours dont l'alimentation soit absolument indépendante de celle de l'éclairage général.

Ceci est alors réalisé, soit par un branchement spécial sur un deuxième réseau urbain, concurrent du premier, soit par un groupe électrogène, soit le plus souvent par une batterie d'accumulateurs. Dans ce dernier cas surtout, par raison d'économie, l'éclairage de secours n'est pas tenu de suppléer entièrement à une interruption dans l'éclairage général, de façon à permettre de continuer la représentation. On lui demande seulement d'assurer l'évacuation des locaux. Dans ce but, on rattache à une série de circuits spéciaux, les lampes d'escaliers, de couloirs et de toutes les issues de la salle.

L'éclairage au théâtre comprend deux parties bien distinctes : 1° *les circuits de la scène et de l'auditorium*; 2° *les circuits de service* : administration, loges d'artistes, vestibule, couloirs, façade, etc.

Pour ne pas trop encombrer de détails ce compte rendu, nous ne nous occuperons que des premiers, sans nous étendre davantage sur les seconds, dont la manœuvre n'exige pas d'appareils spéciaux.

Scène et auditorium. — C'est sans contredit l'éclairage de la scène qui constitue la partie la plus intéressante et qui mérite d'être étudiée en détail.

L'éclairage de l'auditorium se résume le plus souvent en un grand lustre et quelques appliques, quelquefois une couronne de plafond [1].

[1] Tout récemment, la ville de Bordeaux a, après concours, confié l'installation complète de l'éclairage électrique du Grand Théâtre à la Compagnie générale de Travaux d'Eclairage et de Force (anciens Etablissements Clémançon). Ce théâtre, connu du monde entier, est classé comme monument historique. Il est le chef-d'œuvre de l'architecte Louis, auteur de la Comédie-Française à Paris Ce génial architecte qui ne connaissait que les rudimentaires moyens d'éclairage de son époque, avait conçu un remarquable éclairage du grand plafond de la salle et des trois petites coupoles qui le prolongent au-dessus des places d'amphithéâtre, au moyen de corniches dans lesquelles on venait disposer des lampes à huile d'une forme appropriée dont on possède quelques spécimens. Ces lumignons enfumèrent très rapidement les ors des plafonds et furent vite abandonnés.

La restauration récente a ramené au jour ces peintures intactes sous la couche de suie. Des couronnes de lampes électriques ont remplacé les fumeuses lampes à huile, et la salle a repris l'aspect qu'avait voulu lui donner son créateur.

Nous n'entrerons pas dans le détail de cet appareillage qui n'a rien de spécial, pour porter toute notre attention sur le matériel de la scène seule, but de cet article.

Sur une scène de théâtre, les différents éclairages sous lesquels sont présentés les décors s'obtiennent au moyen d'appareils spéciaux qu'on peut classer en deux catégories :

1° Appareils principaux à plusieurs circuits dont la coloration des lampes varie avec chacun d'eux. Ce sont :

Les *herses* pour l'éclairage des frises;

Les *portants* et les *réflecteurs* pour les éclairages en coulisse et des transparents;

Les *rampes* et *traînées* pour l'éclairage au ras du sol.

2° Appareils auxiliaires désignés souvent sous la dénomination plus générale *accessoires*, et ne comportant, sauf quelques cas particuliers très restreints, qu'un seul circuit. Ce sont :

Les *projecteurs* où la lampe à arc est encore très employée;

Les *battants*, *lanternes* diverses;

Les *lustres*, *appliques*, *chandeliers*, se rattachant au mobilier dans les décors qui représentent des intérieurs.

Sur tous les circuits alimentant les appareils de la première catégorie, on peut faire varier la tension dans des limites très étendues, pour produire les différents effets de jour et de nuit, d'aurore et de crépuscule, etc., obtenir certaines colorations en graduant différemment les intensités des lampes de couleurs.

Ceux des appareils de la seconde catégorie sont presque toujours à tension fixe; de simples interrupteurs suffisent à leur commande, tandis que pour la manœuvre des premiers, il faut avoir recours à toute une série d'organes : commutateurs, manipulateurs, rhéostats, embrayages pour manœuvres d'ensemble, coupleurs, interrupteurs multiples, etc., dont le groupement constitue ce que l'on appelle encore *tableau de jeu d'orgue*, dénomination aujourd'hui erronée, dernière survivance de l'appareillage à gaz.

A ces deux catégories d'appareils peuvent être rattachés :

Les *pupitres d'orchestre*;

Le *grand lustre* et les *appliques* de l'auditorium;

Les *lustres* du grand foyer du public.

C'est-à-dire tous ceux dont l'alimentation doit partir du tableau de jeu d'orgue, parce qu'il est nécessaire d'en avoir la commande sur la scène, la manœuvre en étant faite plusieurs fois par soirée, notamment au lever et au baisser du rideau, par opposition aux circuits d'administration, de couloirs, de loges d'artistes, etc., dont la manœuvre n'a lieu qu'une seule fois, et que, pour cette raison, on ramène à un tableau spécial, placé dans un autre local afin d'éviter un encombrement inutile du tableau de jeu d'orgue.

Les circuits à tension variable sont les plus importants sur une scène de théâtre, car on peut dire qu'ils jouent une partition spéciale et que leur accompagnement est entièrement lié aux décors eux-mêmes, qu'ils complètent en leur donnant le relief et surtout la tonalité

Digitized by Google

et un coloris différent; le même décor pouvant être présenté à des heures différentes de jour, à diverses saisons, etc.

Nous savons que ces différents aspects sont obtenus au moyen de lampes de couleurs appropriées, mais la coloration ne suffit pas, il faut aussi que la puissance lumineuse de ces lampes puisse être modifiée de façon à passer insensiblement de sa valeur normale à l'extinction ou inversement, c'est-à-dire du plein jour à la nuit et de la nuit au plein jour, sans que le spectateur observe de brusques variations.

Ces variations d'intensité lumineuse doivent être obtenues d'ailleurs, suivant le cas, avec une vitesse plus ou moins grande ; d'autre part, il est quelquefois nécessaire aussi de procéder à l'extinction ou à l'allumage brusque en partant d'une mise au point déterminée précédemment ; enfin, chaque circuit de herse, rampe, portant ou lustre doit être indépendant de telle sorte que des modifications faites sur l'un d'eux n'affectent en aucune façon les autres.

On voit donc combien sont complexes les opérations qu'on doit demander à un tableau de jeu d'orgue électrique. Il faut cependant qu'il soit aussi petit que possible, non seulement parce que la place disponible est toujours mesurée au théâtre, mais encore pour que l'électricien préposé aux effets de lumière puisse très rapidement exécuter toutes les opérations qui lui sont demandées. Il doit, bien entendu, donner une sécurité absolue, et sa manœuvre n'exiger qu'un personnel réduit, un seul homme le plus souvent.

Un tableau de jeu d'orgue sera donc constitué par un groupement d'éléments unitaires, tous semblables, en nombre égal à celui des circuits à tension variable. Il sera complété par les appareils accessoires destinés aux manœuvres d'ensemble : coupleurs, interrupteurs multiples, etc.

Il nous suffira donc de donner ci-dessous la description d'un de ces éléments et des accessoires.

Élément de jeu d'orgue (1). — Un élément comporte: un *manipulateur*, une *transmission télédynamique*, un *rhéostat* au moyen duquel on fera varier l'intensité lumineuse des lampes du circuit correspondant.

Manipulateur. — Il est constitué par un support en fonte qui réunit à la fois l'appareil de commande électrique du circuit et l'appareil de commande mécanique du rhéostat correspondant, le tout sous un volume très restreint (hauteur = 270 mm, longueur = 148 mm, épaisseur = 130 mm). Il y a là évidemment un énorme avantage pour les manœuvres (1).

L'appareil de commande électrique est un commutateur à quatre directions, monté sur marbre, balais feuilletés équilibrés à rattrapage automatique de l'usure, brise-étincelle à rupture brusque, butées d'arrêt. Connecté au circuit des lampes, il permet les combinaisons suivantes :

La poignée supérieure (fig. 1) étant sur la position O, il y a extinction totale ; sur la position R (représentée sur la figure), le rhéostat se trouve intercalé dans le circuit ; on peut alors faire varier l'état lumineux. Sur la position C, le rhéostat est toujours intercalé, mais le circuit est en même temps relié au coupleur, dont nous parlerons plus loin ; enfin, sur la position PF, le circuit reçoit le courant directement, rhéostat et coupleur sont hors circuit, c'est le plein feu.

L'appareil de commande mécanique du rhéostat est constitué par un tambour muni de deux gorges dans lesquelles s'enroulent ou se déroulent deux cordelettes formant transmission télédynamique jusqu'au rhéostat placé à distance et dont elles sont chargées d'entraîner le curseur (fig. 2).

Commutateur et tambour sont masqués par une plaque nickelée portant gravés une série de repères. Elle porte en outre une ouverture garnie de mica par où on peut surveiller le fonctionnement du commutateur.

Le tambour, et par suite le rhéostat, est commandé par une poignée (poignée inférieure, fig. 1 et 2 se déplaçant sur le limbe gradué M. En tournant la manette vers N, on augmente la valeur de la résistance en circuit, on va donc vers la nuit qui sera complète au repère o ; en tournant vers J, on la diminuera, on ira vers le jour qui sera complet au repère 20 (voir fig. 1). Les autres repères correspondront à des intensités lumineuses intermédiaires.

Il peut arriver qu'on ait besoin de faire varier simultanément les intensités lumineuses de divers appareils. Les tambours peuvent dans ce but être embrayés sur un arbre existant derrière chaque rangée horizontale et pouvant être mû par un volant placé à son extrémité. Suivant que le levier que l'on voit fixé à la poignée inférieure (fig. 1 et 3), est relevé ou abaissé, le tambour est embrayé ou débrayé sur l'arbre.

Si on vient agir sur le volant, on n'entraînera que les tambours embrayés, les autres restant dans leurs positions respectives.

Dans quelques cas, il peut être utile de pouvoir arrêter un certain nombre de tambours sur des repères déterminés à l'avance tout en laissant les autres continuer leur mouvement. C'est le rôle des butées mobiles qu'on voit également sur les figures 1 et 2. Ces butées se déplaçant suivant le limbe gradué peuvent être fixées dans

(1) Toutes les descriptions qui vont suivre, ainsi que les reproductions photographiques qui les illustrent, se rapportent aux appareils étudiés et construits par la Compagnie générale de Travaux d'éclairage et de Force (anciens Établissements Clémançon) à Paris, qui a installé tous les grands théâtres de Paris, de province et même quelques-uns à l'étranger. Elle a bien voulu non seulement nous fournir toute la documentation nécessaire, mais même nous faire visiter plusieurs théâtres sous la conduite d'un de ses ingénieurs.

(1) C'est, à notre connaissance, le seul système qui réalise ce remarquable groupement. Dans tous les autres systèmes : anglais, américains ou allemands, il y a toujours séparation, et le jeu d'orgue comprend un tableau d'appareillage électrique et un appareil de manœuvre des rhéostats.

Digitized by Google

une position déterminée aux repères choisis; elles seront rencontrées par le levier pendant la rotation de la poignée inférieure ; ce levier en se soulevant provoquera le débrayage automatique du manipulateur. Lorsque l'arbre tournera en sens inverse, l'embrayage aura lieu aussitôt et sera maintenu jusqu'au moment où la butée opposée sera rencontrée. Au repos, les butées sont placées en J et en N et servent de débrayage de sûreté.

Transmission télédynamique. — Elle est constituée par les deux cordelettes inextensibles qui relient le tambour à gorges du manipulateur à une poulie de même forme et de même diamètre placée sur l'axe du rhéostat et entraînant le curseur mobile (fig. 2). Comme le tambour n'accomplit pas un tour complet, mais seulement les 7/8 environ et que son mouvement n'est qu'un mouvement de libration très accentué, les cordelettes ont des points d'attache sur les poulies, de sorte qu'il ne peut y avoir de glissement; rhéostat et manipulateur sont ainsi rigoureusement solidaires.

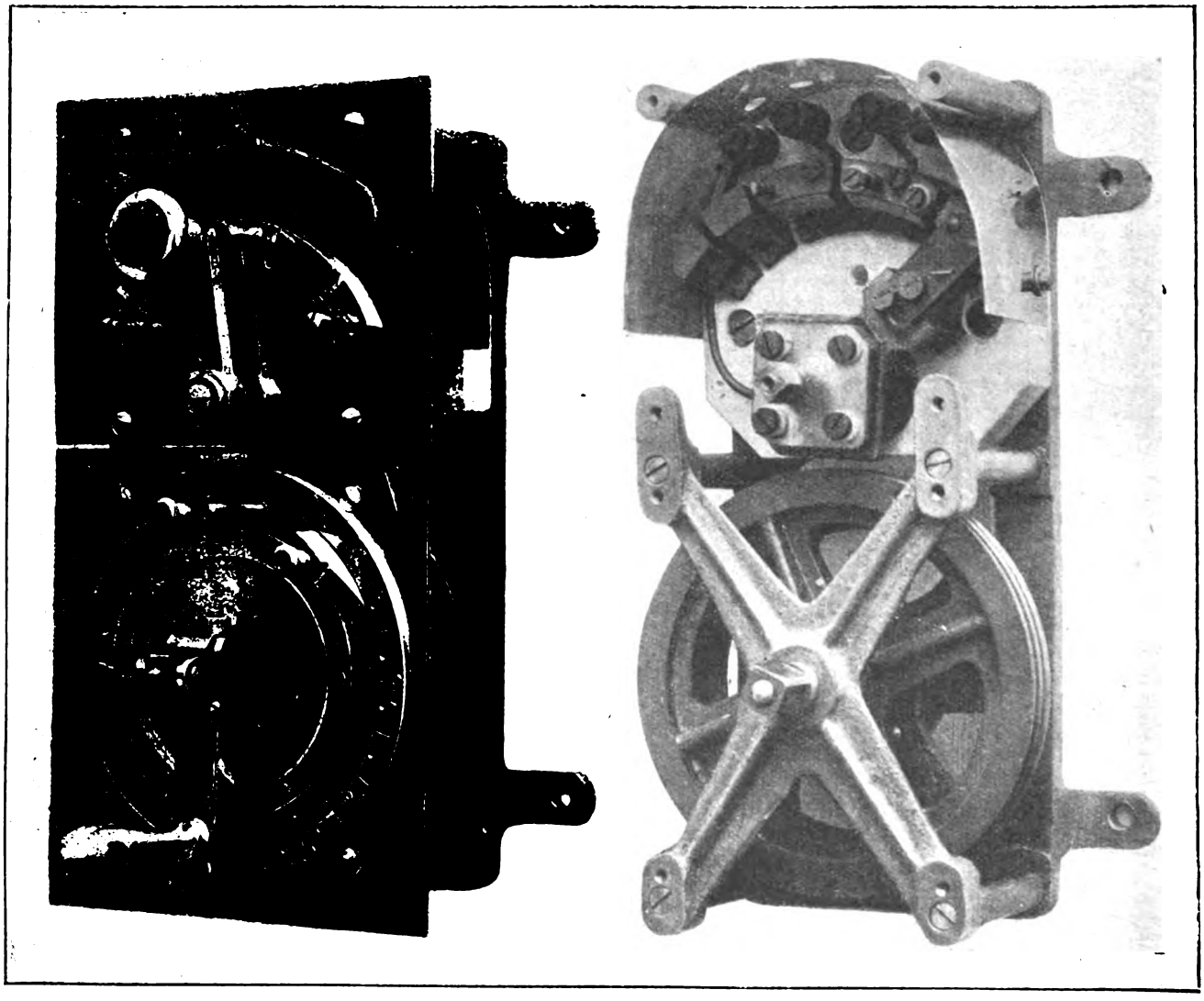


Fig. 1. — Manipulateur de jeu d'orgue, à gauche fermé, à droite ouvert.

Par ce système, on évite les contrepoids de rappel qui existent dans les transmissions unifilaires, contrepoids toujours très lourds qui rendent très pénibles les manœuvres d'ensemble et nécessitent quelquefois la présence d'un moteur de secours; ils ont, en outre, l'inconvénient de maintenir une tension sur les fils, provoquant des allongements qui dérèglent les appareils et fatiguent les supports.

Dans le système à deux fils, la tension est insignifiante, puisqu'elle se réduit à celle qui est nécessaire pour vaincre les frottements, toujours très faibles.

Les changements de direction sont obtenus au moyen de poulies à gorge profonde.

Rhéostat. — Complément du manipulateur et cons-

Digitized by Google

tituant avec lui un élément de tableau de jeu d'orgue, il a pour but de graduer la tension aux bornes des lampes du circuit correspondant suivant une loi parfaitement déterminée. La gradation obtenue par ce système est rigoureusement continue et sans à coups, même sur les lampes à filament métallique et l'intensité lumineuse varie du plein feu à la nuit complète ou inversement.

Il se compose (fig. 2) d'un plateau annulaire en matière isolante et incombustible. L'une des faces porte 160 plots, l'autre une couronne continue. La résistance est formée d'un fil de constant, tissé avec du fil d'amiante de façon à constituer une toile. Les plots successifs sont reliés avec les sommets des boucles qui bordent la toile.

Un frotteur, formé de deux balais feuilletés en cuivre rouge extra-souple portés par un étrier, réunit la couronne aux plots, de telle sorte que le frotteur étant animé d'un mouvement de rotation autour de l'axe du plateau, les spires résistantes seront, selon le sens, soit successivement intercalées, soit retirées du circuit relié à la couronne et au premier plot.

Le porte-balais est constitué par une tige en aluminium C' fixée sur un plateau d'entraînement dont elle est isolée électriquement. Il peut osciller légèrement dans le sens transversal de telle façon que les pressions exercées par les deux balais se font équilibre, ce qui améliore le contact et, en évitant toute réaction sur l'arbre, adoucit la commande.

La jante de la poulie à gorges est amovible, pour permettre le remplacement très rapide d'un rhéostat sans avoir à régler de nouveau la transmission.

Les avantages de ce rhéostat sont : poids et encombrement aussi réduits que possible (diamètre du plateau = 480 mm, quelle que soit l'intensité du rhéostat), ventilation parfaite, absence de câble souple accompagnant le frotteur, suppression des contrepoids de rappel, isolement parfait des spires entre elles et par rapport au support, absence absolue de phénomènes de self-induction, ce qui permet d'utiliser le même rhéostat sur courant continu ou alternatif; telles sont les qualités de ce remarquable appareil.

Tableau de jeu d'orgue. — Le tableau proprement dit est constitué par la réunion de tous les manipulateurs (fig. 3), tandis que tous les rhéostats (fig. 4) sont montés sur un châssis placé dans un local contigu à la scène, quelquefois même directement au-dessus ou au-dessous du tableau.

Les manipulateurs sont groupés symétriquement de façon à permettre à l'électricien de distinguer immédiatement le nom du circuit et sa coloration. Chaque rangée horizontale comprend les manipulateurs de même couleur de tous les appareils d'éclairage, tandis que chaque tranche verticale comprend tous ceux des circuits de couleurs diverses d'un même appareil, d'une herse par exemple. Il existe un arbre de manœuvre générale pour chaque rangée horizontale; on pourra donc, en agissant simultanément sur plusieurs volants, changer insensiblement l'aspect d'un décor, en baissant

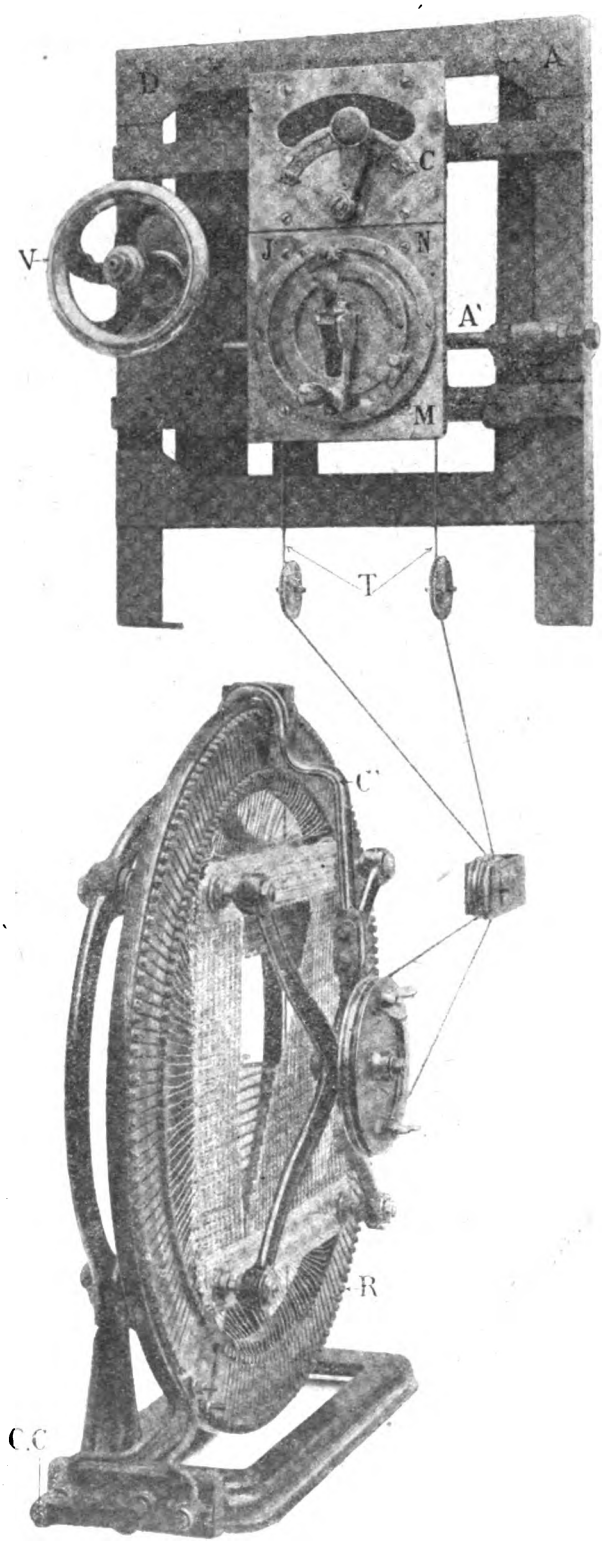


Fig. 2. — Elément d'un tableau de jeu d'orgue.

C, commutateur électrique; A', arbre de commande générale; M, manipulateur mécanique; T, transmission télédynamique; V, volant pour commande générale; C', curseur rotatif; R, rhéostat; C,-C,, coupe-circuit.

Digitized by Google

certains allumages et en montant les autres ; on pourra également obtenir toutes les colorations intermédiaires en combinant les couleurs principales.

Quand nous aurons dit quelques mots des coupleurs et des interrupteurs multiples, nous aurons fini la description de ce système de jeu d'orgue électrique, utilisé sur un très grand nombre de scènes, où il donne partout les résultats les plus satisfaisants.

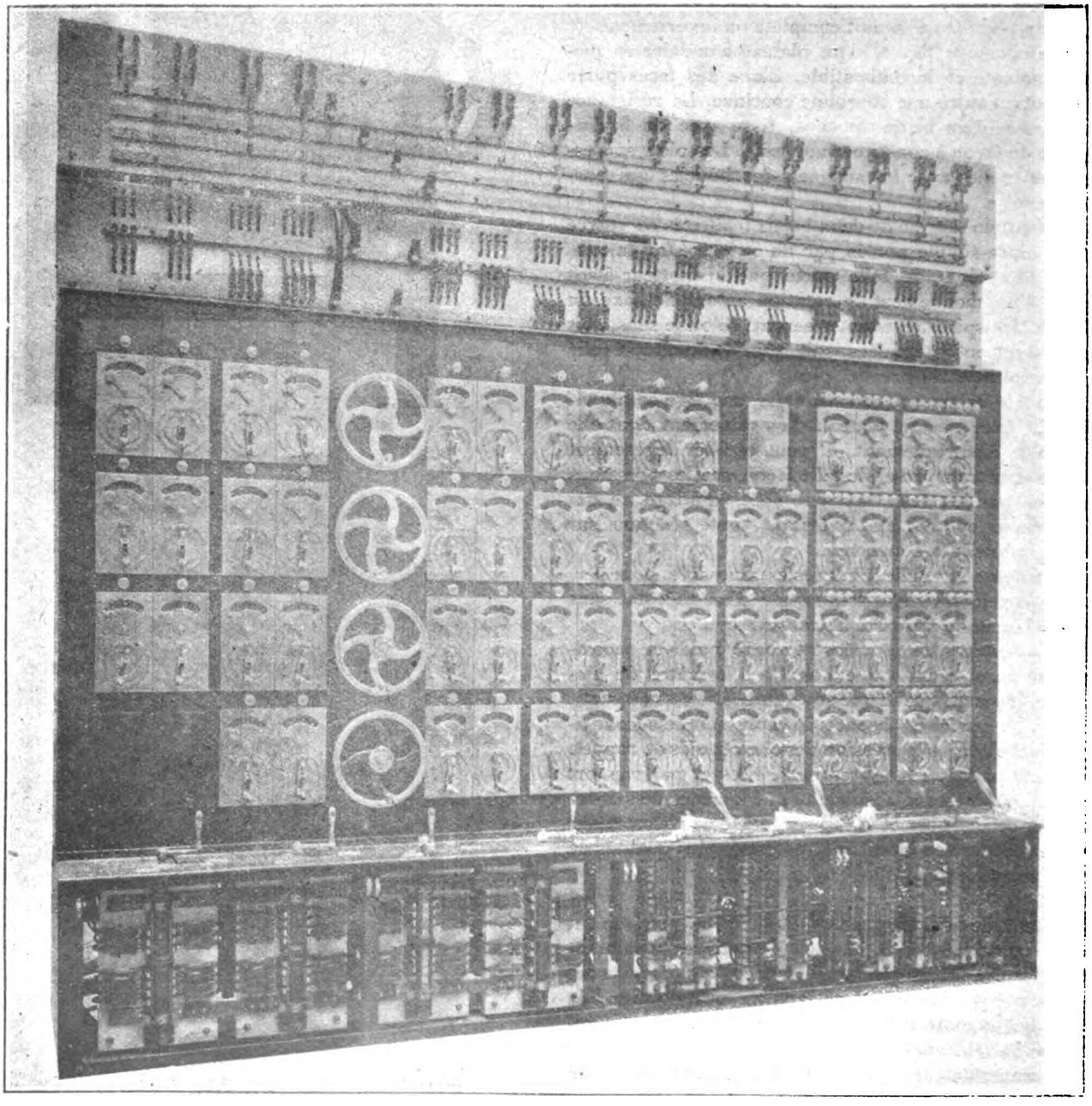


Fig. 3. — Tableau de jeu d'orgue du théâtre national de la Comédie-Française.

Coupleur. — Appareil ayant pour but de fournir le courant simultanément dans un grand nombre de dérivations et dont la fonction consiste à mettre brusquement en court-circuit tous les rhéostats pour lesquels la poignée supérieure du commutateur est sur la position C. Les circuits correspondants seront donc ramenés brusquement au plein feu ; dans la manœuvre inverse, ces circuits passeront instantanément du plein feu à un état de résistance déterminé par la position de la poignée inférieure sur le limbe gradué.

Interrupteur multiple. — Cet appareil comporte au-

Digitized by Google

tant de couteaux, isolés entre eux, qu'il a de commutateurs sur le tableau. Chaque interrupteur unipolaire divisionnaire est en série dans le circuit du commutateur correspondant. Un interrupteur auxiliaire à fiche permet de shunter ou non ce premier interrupteur.

La manœuvre de l'interrupteur multiple intéresse donc, pour l'extinction ou le rallumage, tous les circuits dont les fiches ne sont pas dans la position de shuntage.

L'interrupteur multiple peut donc agir sur un nombre quelconque de circuits ou sur la totalité.

Chaque tableau de jeu d'orgue comporte un coupleur et un interrupteur multiple par rangée horizontale, c'est-à-dire par couleur.

Matériel d'éclairage de la scène. — RAMPE D'AVANT-SCÈNE. — Comme son nom l'indique (fig. 5), cet appareil est placé en bordure du proscénium; tout le monde le connaît, car c'est le seul appareil de scène qui soit visible pour le spectateur. Il comporte un très grand nombre de lampes aussi rapprochées que possible les unes des autres, de façon à donner un éclairage très puissant et bien uniforme. Dans les décors représentant des intérieurs, c'est quelquefois la rampe qui doit suffire à tout l'éclairage (1).

La rampe est munie d'un réflecteur à deux étages; la construction de ce réflecteur est toujours très délicate, car il faut éviter la dispersion dans la salle.

(1) Cet éclairage d'intérieur est assez souvent complété par celui donné par la première herse, appelée herse de draperie parce qu'elle est plus rapprochée du rideau.

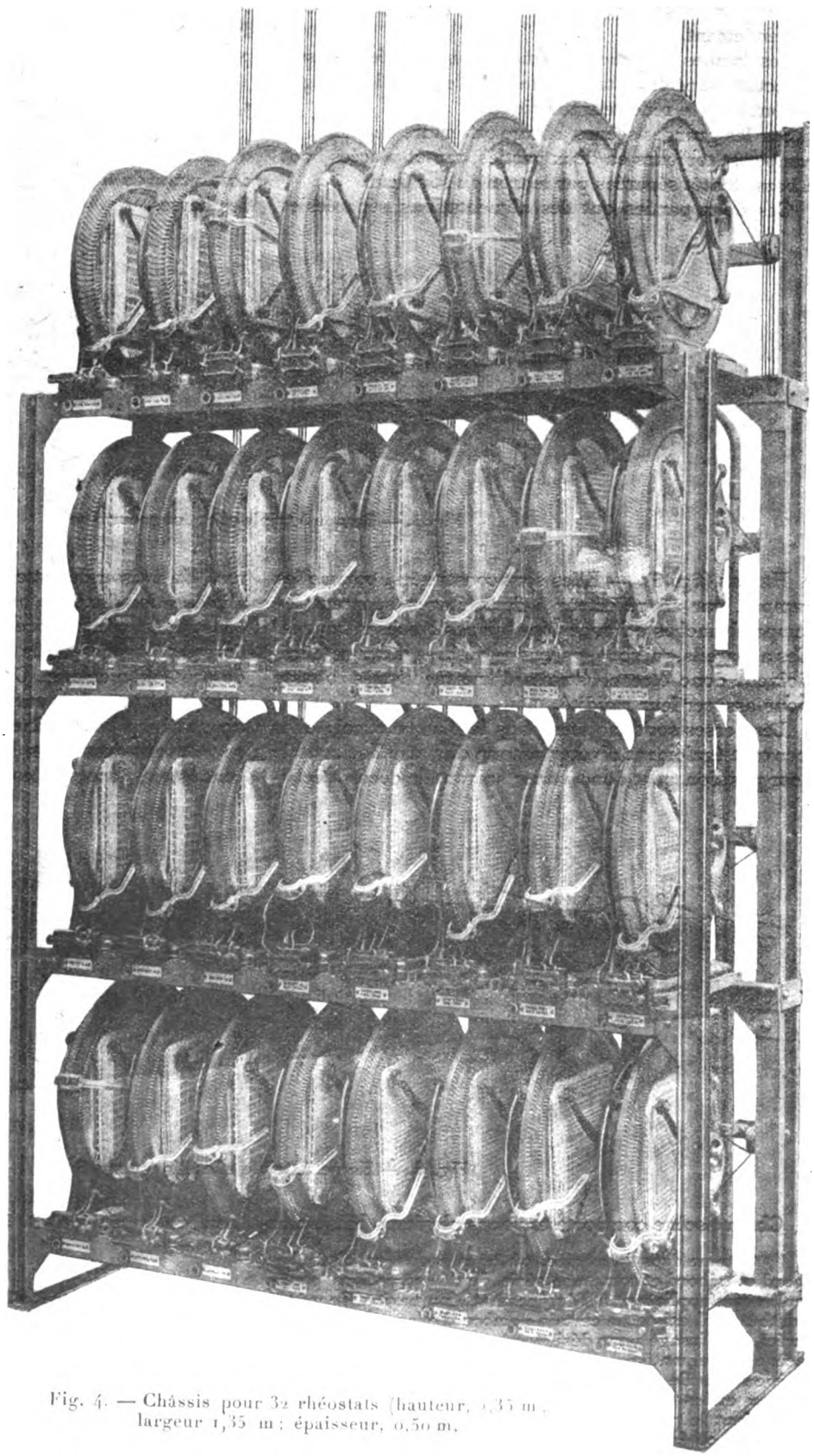


Fig. 4. — Châssis pour 32 rhéostats (hauteur, 1,35 m; largeur 1,35 m; épaisseur, 0,50 m.

Digitized by Google

d'aveugler les spectateurs des avant-scènes, sans nuire au rendement.

Les lampes blanches et jaunes sont placées dans le réflecteur supérieur, tandis que les bleues et les rouges le sont dans le réflecteur inférieur.

Sur les grandes scènes à large ouverture de cadre, la rampe est toujours en deux parties, tantôt placées bout à bout, tantôt séparées par le trou du souffleur.

Ces deux parties ont des alimentations séparées et constituent en réalité deux appareils semblables, mais distincts, ayant chacun leurs éléments de jeu d'orgue en propre.

Pour les distinguer, on les désigne sous le nom de « rampe *cour* et rampe *jardin* » (1).

La rampe éclaire donc la scène par le bas. Pour donner l'impression de la lumière du jour, l'éclairage doit venir du haut, c'est ce que l'on obtient au moyen des herses.

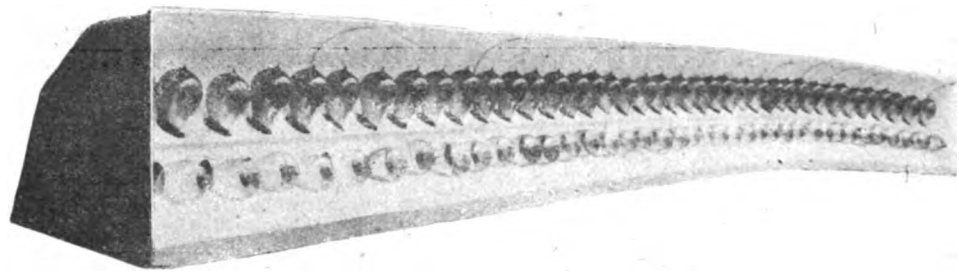


Fig. 5. — Rampe à triple effet (longueur 5 m).

Herses (fig. 6). — Elles sont constituées, comme les rampes, par un réflecteur à deux étages séparant les lampes blanches et jaunes des lampes bleues et rouges. Ces appareils, qui sont suspendus au-dessus des acteurs, doivent donc être construits d'une façon très robuste pour assurer leur rigidité.

Les herses sont mobiles dans le plan vertical; elles peuvent également pivoter autour d'un axe horizontal; leur position peut donc varier suivant le décor à éclairer. En raison de cette mobilité, il a fallu réaliser une alimentation flexible; on l'obtient au moyen d'un câble constitué par le nombre de conducteurs nécessaires aux divers allumages de la herse et réunis sous une gaine de protection en cuir. Ce câble souple est attaché, d'une part à la herse, à une extrémité (2), et, d'autre part aboutit à des bornes fixes placées au premier cintre. Là, se trouvent aussi tous les coupe-circuits de protection rendus ainsi accessibles à tout moment.

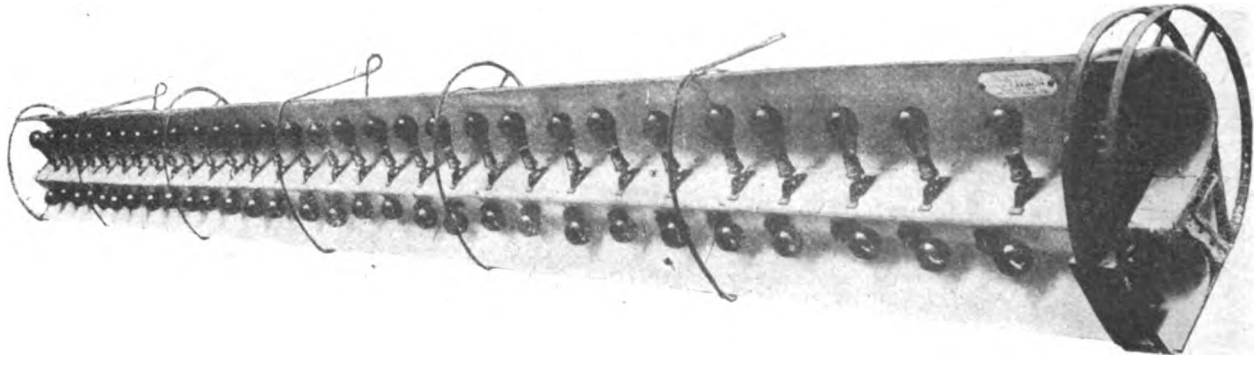


Fig. 6. — Herse à triple effet (longueur 6 m).

Chaque scène comporte toujours plusieurs herses; ce nombre varie de 3 à 12 suivant l'importance du théâtre (3).

(1) Comme dans la marine, où nous avons les côtés bâbord et tribord et toute une série de dénominations particulières s'appliquant à l'équipement d'un navire, de même au théâtre il existe un certain nombre d'expressions consacrées par l'usage pour désigner les diverses parties de la scène et le matériel qui y est employé. Le plancher de scène s'appelle « plateau »; les parties inférieures « dessous » et les parties supérieures « cintres ». Un acteur regardant le public a à sa gauche le côté « cour », à sa droite le côté « jardin », devant lui « la face », derrière lui « le lointain ».

(2) Dans les théâtres allemands, l'alimentation des herses est faite dans leur milieu par des câbles enveloppés de toile, ce qui est insuffisant, et rattachés sur le gril à la canalisation fixe, ce qui est bien haut et peu pratique pour l'entretien.

(3) La scène de l'Opéra comporte : 11 herses, le Châtelet 10, l'Opéra-Comique 7, la Comédie-Française 7, le Théâtre de Bordeaux 9, l'Opéra de Marseille 7, le Théâtre de Saint-Sébastien 5, etc., etc.

Digitized by Google

Toutes ces herses sont indépendantes, ayant chacune leurs éléments de jeu d'orgue distincts.

Portants. — Eclairé par en bas par la rampe et par en haut par les herses, l'encadrement lumineux serait incomplet si les côtés restaient sombres. Nous aurons alors recours aux portants. Ces appareils sont constitués par un montant en bois aussi léger que possible, sur lequel sont disposées les unes au-dessus des autres, les lampes qui sont groupées sur 1, 2, 3 ou 4 allumages indépendants, suivant que les portants sont à simple, double, triple ou quadruple effet. Le nombre de lampes varie de 3 à 30 suivant les dimensions de l'appareil.

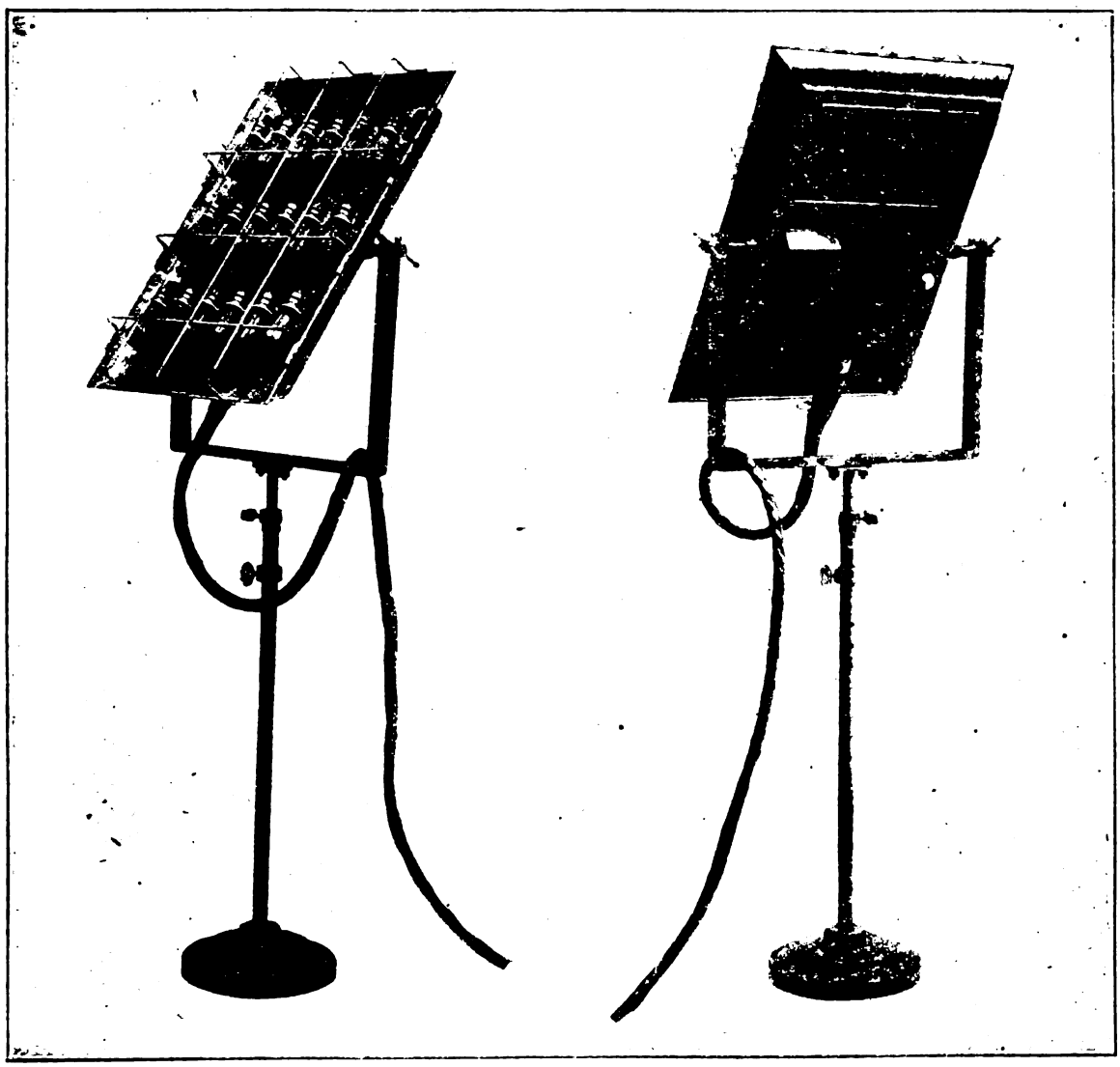


Fig. 7 et 8. — Réflecteur à triple effet (hauteur de l'axe 1,50 m, réflecteur 750 mm × 560 mm).

Les portants sont en général disposés en coulisse verticalement à l'arrière des décors, éclairant ainsi, sans être vus du public, la partie du décor qui est dans le plan suivant. On peut aussi les disposer horizontalement derrière des bandes de terrain ou des rampes d'eau; on les désigne plus spécialement alors sous le nom de *traînées*.

Comme le nombre de portants ou traînées nécessaires varie avec chaque décor, ils ne peuvent donc être liés d'une manière fixe avec les canalisations d'alimentation. La liaison est alors obtenue au moyen d'un raccord à contacts multiples muni d'un verrou de sûreté.

Les contacts étant concentriques, il ne peut y avoir inversion dans l'ordre des allumages, et le verrou empêche la rupture de liaison avec le câble souple sous gaine de cuir qui aboutit à une boîte spéciale de prise de courant disposée sous le plateau.

L'appareil est complété par des coupe-circuits à conjoncteurs et des interrupteurs secondaires.

Digitized by Google

Réflecteurs (fig. 7 et 8). — Présentant des dispositifs analogues à ceux des portants, les réflecteurs, dont les lampes sont groupées sur une surface réfléchissante, au lieu d'être disposées en longueur, sont des appareils mobiles employés plus particulièrement pour des éclairages concentrés sur un point : fenêtres, transparents, etc. Ils se font également à simple, double, triple ou quadruple effet.

Projecteurs (fig. 9). — Ces appareils, qu'il ne faut pas confondre avec les lanternes de projection, sont destinés à produire un éclairage très violent sur un point, donner par exemple l'impression d'un effet de soleil. Le modèle que nous décrivons est spécialement étudié pour l'emploi au théâtre. Il est formé d'une caisse en tôle, à l'intérieur de laquelle est disposée une lampe à arc d'une intensité de 25 à 30 A. Cette lampe comporte un

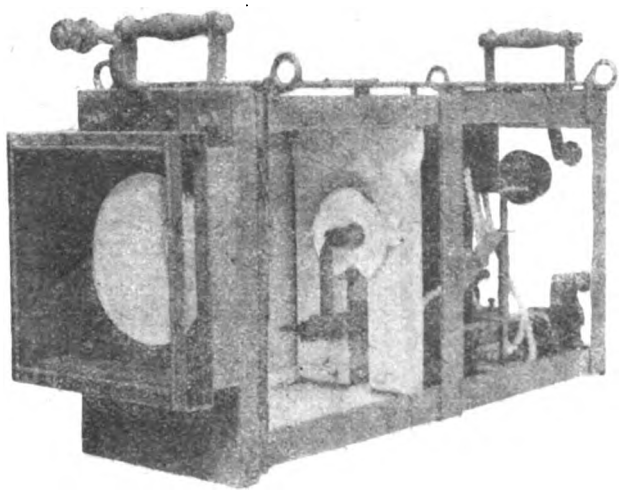


Fig. 9. — Projecteur (côté enlevé pour montrer l'intérieur) Hauteur 300 mm, largeur 180 mm ; profondeur 550 mm.

charbon vertical et un charbon horizontal commandés de l'arrière par vis, soit séparément, soit simultanément. Le point de rencontre des charbons étant toujours dans l'axe de l'appareil, le foyer est donc rigoureusement fixe par rapport au centre de la lentille placée à l'avant.

L'ensemble de la lampe est porté par un chariot qu'une commande à vis permet de déplacer pour le réglage du cône de dispersion depuis le maximum jusqu'au parallélisme des rayons émergents.

En avant de la lampe à arc et porté par le même chariot, est un obturateur à double guillotine actionné de l'extérieur, et qui permet de masquer ou démasquer graduellement le faisceau lumineux.

L'appareil est complété par une prise de courant, avec raccord à verrou de sûreté, empêchant l'inversion des pôles, par des glissières pour verres de couleurs, par des tourillons pour montage du projecteur sur un support à fourchette.

Divers. — Nous aurions encore à parler des raccords spéciaux destinés à établir des connexions sûres et rapides entre les appareils mobiles que nous venons de décrire, des lanternes de service, des appareils spéciaux pour éclairage des pupitres d'orchestre sans projection de lumière tout autour, etc., etc., mais vouloir décrire toutes les applications de l'électricité au théâtre, nous entraînerait trop loin : sous forme de force motrice, elle y occupe encore une autre place très importante.

II. — **Installation d'éclairage électrique du Théâtre national de la Comédie-Française.** — Nous avons pensé que la description sommaire de l'installation la plus récemment exécutée dans un grand théâtre de Paris dédommagerait nos lecteurs de la peine prise à nous suivre dans ces détails un peu trop arides, et, pénétrant avec eux dans l'intimité de notre Comédie Française (fig. 10), nous allons leur montrer une application des mieux comprises et des mieux réalisées de l'éclairage électrique sur une scène moderne.

Après avoir examiné au sous-sol les diverses sources de courant qui alimentent ce théâtre, et le tableau général d'où partent toutes les colonnes, nous monterons quatre étages et pénétrerons par le lointain cour sur le plateau où nous verrons tout le matériel scénique.

Pour terminer notre visite, nous ferons une courte apparition au premier cintre jardin.

Sources de courant. — L'énergie électrique nécessaire à l'éclairage général et à la force motrice est fournie par la Compagnie Parisienne de Distribution d'Electricité, au moyen de deux branchements bien distincts :

1° Branchement à 3 fils, courant continu 2 × 110 v relié au réseau alimenté par la sous-station Bergère, et pouvant fournir 2 × 400 A;

2° Branchement sur courant alternatif diphasé haute tension, 12 000 v, dérivé de la sous-station Saint-Roch.

Le premier aboutit à un tableau de comptage ordinaire, le second à un poste de transformation réglementaire d'une puissance de 144 kv-A situé en sous-sol, en dehors du théâtre, sous le péristyle de Chartres (1).

La sortie basse tension de ce poste est à 5 fils, système étoile, neutre commun aux deux phases, 110 v par phase et 55 v entre phases et neutre, qui est mis à la terre. La distribution n'est donc en réalité qu'à quatre fils, tous maintenus à un potentiel maximum de 55 v par rapport à la terre.

Ces deux branchements proviennent bien de deux sous-stations distinctes, mais ces sous-stations étant sous la dépendance d'une même centrale, tout accident grave survenant à cette usine pourrait être une cause

(1) Ce poste de transformation, dont l'équipement est dû à la Société anonyme Westinghouse, est en cours d'achèvement. Il en est de même pour le nouveau tableau général fourni par la Compagnie générale de Travaux d'Eclairage et de Force. Leur mise en service étant très prochaine, notre description suppose que c'est déjà fait.

Digitized by Google

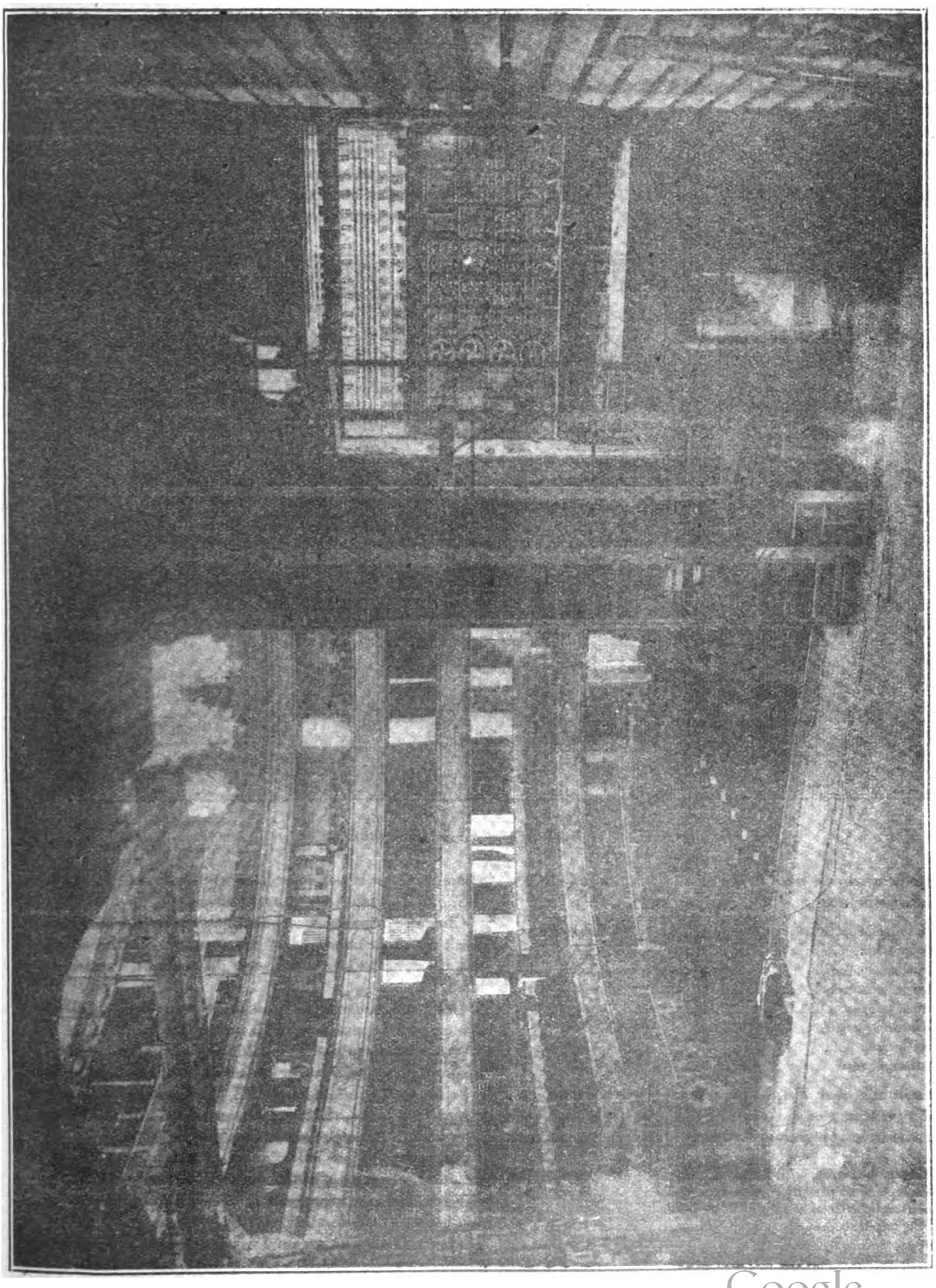


Fig. 10. — Vue de la scène de la Comédie-Française, avec cabine du jeu d'orgue. — A droite, tableau d'orgue en cours de montage; à gauche, en haut de la scène, on aperçoit la herse; en bas, en bordure de la scène, on distingue aisément la rampe.

Digitized by Google

d'interruption du courant sur les deux branchements simultanément.

Pour parer à cette éventualité, on a installé dans ces mêmes sous-sols, mais dans des locaux bien séparés des premiers, une puissante batterie d'accumulateurs de secours de capacité suffisante pour pouvoir assurer une représentation complète, et même deux, en restreignant un peu le luminaire (1).

Un tableau spécial permet la charge et la décharge de cette batterie.

La charge a lieu sous tension constante de 220 v au moyen de courant prélevé sur le branchement à trois fils, courant continu.

Nous voyons donc que les conditions de sécurité absolue dans la continuité de l'éclairage sont ainsi parfaitement assurées.

Tableau général de distribution (fig. 11). — Ce tableau est composé de cinq panneaux en marbre montés sur un châssis commun en fer. A l'arrière de ce tableau aboutissent sur des barres de cuivre les trois alimentations dont nous venons de parler. Sur l'avant, sont disposés

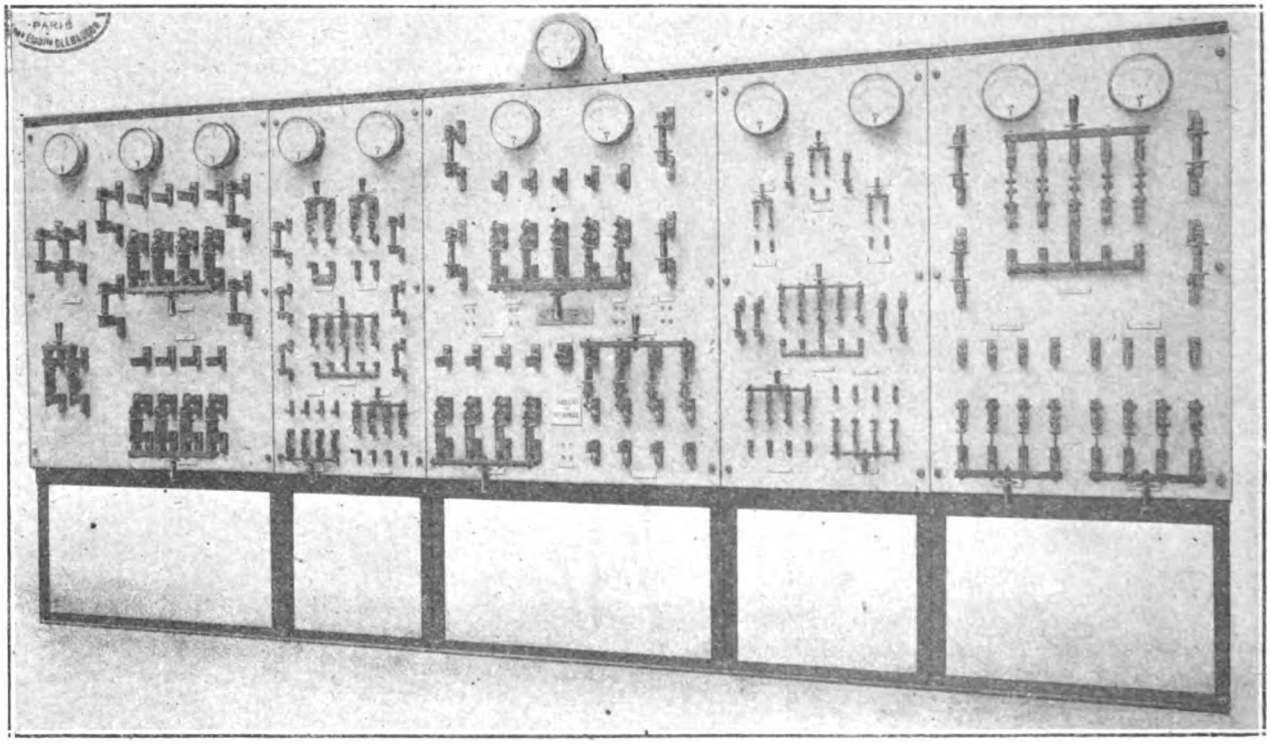


Fig. 11. — Tableau général de distribution.

des inverseurs et des interrupteurs commandant les colonnes suivantes :

Charge de la batterie	250	ampères
Projections	300	Id.
Service scène	503	lampes
Force motrice	3	moteurs
Jeu d'orgue	1 797	lampes
Colonne jardin	164	Id.
Veilleuses	16	Id.
Colonne cour	1 567	Id.

La colonne *charge de la batterie* reçoit le courant continu du secteur 220 v seulement.

Les colonnes *projections et force motrice* peuvent être alimentées, soit par le secteur continu, soit par la batterie, à l'exclusion du courant alternatif.

Chacune des autres colonnes peut recevoir indifféremment et séparément, soit du courant continu secteur, soit du courant alternatif, soit du courant continu batterie.

Les trois sources peuvent donc concourir à l'alimentation, soit séparément, soit ensemble

Notre description des colonnes serait incomplète si nous omettions de parler de celle des lampes de secours (181 lampes) totalement isolée, tant comme départ que comme parcours, de toutes les autres et toujours alimentée pendant les représentations par la batterie.

Au point de vue installation et disposition, nous ne croyons pas utile d'entrer dans la description des circuits d'éclairage proprement dits. Chaque colonne alimente une série de tableaux divisionnaires d'étages qui permettent de fractionner l'éclairage suivant les besoins

(1) Cette batterie, du type T. E. M., se compose de 62 éléments à 15 plaques 400 mm × 400 mm contenues dans des bacs en bois doublés de plomb. Les connexions sont soudées. Sa capacité est de 1 050 A-h au régime de décharge de 200 A.

Digitized by Google

De ces tableaux, les circuits secondaires partent tous bipolairement et sont munis d'interrupteurs et de coupe-circuits. Un accident est donc immédiatement localisé.

Quittons les sous-sols et montons sur la scène.

Tableau de jeu d'orgue (fig. 3). — Ce tableau situé dans une cabine surélevée au côté jardin, comporte 64 éléments (1); les manipulateurs sont groupés sur 4 rangs de 15, correspondant aux allumages blancs, jaunes, bleus et rouges. Ils sont tous montés sur un châssis entièrement métallique mis en contact direct avec le sol.

En dehors de l'isolant des câbles des connexions, il ne contient aucune matière combustible.

La distribution électrique est faite au moyen de barres de cuivre apparentes montées sur panneaux marbre portant aussi tous les fusibles de protection.

Ces fusibles protègent non seulement les circuits partant du jeu, mais aussi toutes les connexions intérieures du jeu.

Les 64 éléments se répartissent comme suit :

Rampe cour à 4 effets	4
Rampe jardin à 4 effets	4
6 herses à 4 effets	24
Herse 7 cour à 4 effets	4
Herse 7 jardin à 4 effets	4
Portants face cour à 3 effets	3
Portants face jardin à 3 effets	3
Portants milieu cour à 3 effets	3
Portants milieu jardin à 3 effets	3
Portants lointain cour à 3 effets	3
Portants lointain jardin à 3 effets	3
Accessoires plateau cour à 1 effet	1
Accessoires plateau jardin à 1 effet	1
Accessoires cintre cour à 1 effet	1
Accessoires cintre jardin à 1 effet	1
Lustre salle (2 circuits)	2
	64

L'ensemble des rhéostats correspondant est disposé dans un local spécial en dehors de la cage de scène, dans une dépendance du grand vestibule.

Ils sont montés sur des châssis en fer (fig. 4) en contact avec le sol. Les conducteurs reliant les manipulateurs et les rhéostats sont placés en fourreaux tôle isolés.

Les transmissions télédynamiques pénètrent dans ce local à la hauteur du deuxième dessous à travers une plaque de tôle perforée scellée dans le mur de scène.

Les rhéostats n'agissent que sur un seul pôle de chaque circuit, et les enroulements sont très largement calculés pour éviter tout échauffement excessif.

(1) Nombres d'éléments des tableaux de quelques théâtres :

Grand Théâtre de Bordeaux	96
Théâtre du Châtelet, à Paris	88
Opéra de Marseille	45
Théâtre de la Porte Saint-Martin, à Paris	64
Théâtre de l'Ambigu, à Paris	58
Théâtre de Rennes	32
Théâtre de l'Opéra-Comique, à Paris	60
Théâtre des Variétés, à Paris	60
Théâtre des Galeries St-Hubert, à Bruxelles	34
Théâtre Victoria-Eugenia, à Saint-Sébastien	25

Tableaux accessoires. — Dans la cabine du jeu d'orgue, nous trouvons un premier tableau d'où partent les circuits suivants :

Projections plateau cour.
Id. jardin.
Projections cintre cour.
Id. jardin.

Nous avons vu qu'une colonne spéciale « projections » partait du tableau du sous-sol.

En dessous du jeu, sont deux autres tableaux alimentés par la colonne « service scène » et d'où partent les circuits de l'auditorium, girandoles, appliques, grand lustre (3e allumage), les circuits de répétition des herses, qui peuvent être détachés du jeu au moyen d'inverseurs, et, enfin, les circuits de service des cintres et des dessous.

Appareillage. — Il comprend :

1 rampe d'avant-scène à 4 effets (160 lampes);
4 portants de 18 lampes;
10 portants de 12 lampes;
2 réflecteurs de 18 lampes;
16 prises de courant à triple effet;
14 prises de courant pour accessoires et projections plateau;
16 câbles sous cuir pour portants;
3 herses draperie de 8 m (80 lampes);
2 herses de 10 m (100 lampes);
2 herses de 12 m (120 lampes);
2 herses de 14 m (140 lampes);
8 câbles souples sous cuir pour herse (la 7e en ayant 2);
22 prises de courant pour accessoires ou projection cintre;
16 projecteurs;
36 câbles sous cuir pour accessoires ou projecteurs.

Un nombre considérable d'appareils appartenant au mobilier, lustres de scène, appliques, etc.

Toutes les boîtes de prises de courant du plateau sont placées dans le deuxième dessous, où elles sont à tout instant accessibles.

Celles des herses et des accessoires de cintre sont fixées au plafond du premier cintre, exclusivement réservé au service électrique (1).

Ces boîtes renferment des fusibles secondaires protégeant toutes les dérivations.

Nous remarquons également, dans ces cintres, de nombreux projecteurs montés sur pivots, ce qui permet de les orienter dans tous les sens.

Nous espérons avoir intéressé nos lecteurs en leur permettant de se rendre compte de l'importance de l'installation de l'éclairage électrique dans un théâtre moderne, où les exigences toujours croissantes des mises en scène posent tous les jours de nouveaux problèmes à résoudre.

J. Reyval.

(1) Cette heureuse disposition qui sépare les électriciens des machinistes n'existe, croyons-nous, à Paris, qu'à l'Opéra, à l'Opéra-Comique et à la Comédie-Française. Le théâtre de Bordeaux vient d'adopter cette disposition qui présente de très grands avantages.

Digitized by Google

Revues, analyses et informations

Les redresseurs à vapeur de mercure (1).

Les redresseurs à vapeur de mercure commencent à être employés avantageusement aux lieu et place des groupes convertisseurs et des commutatrices (ligne à 800 v du chemin de fer Lausanne-Moudon, etc..) Des essais complets de ces appareils ont été faits cette année à l'École technique supérieure de Zurich. On a employé un redresseur type

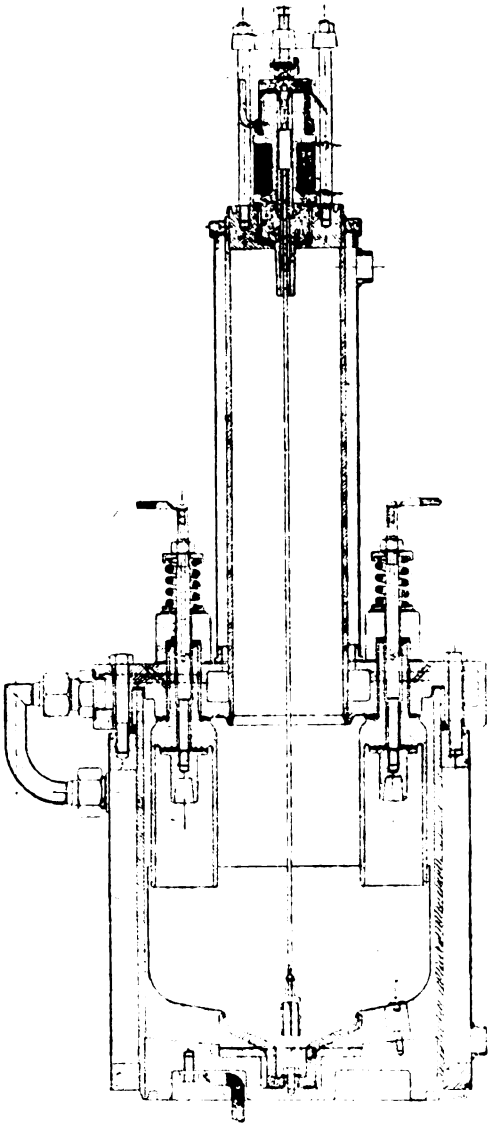


Fig. 1. — Coupe d'un redresseur à vapeur de mercure.

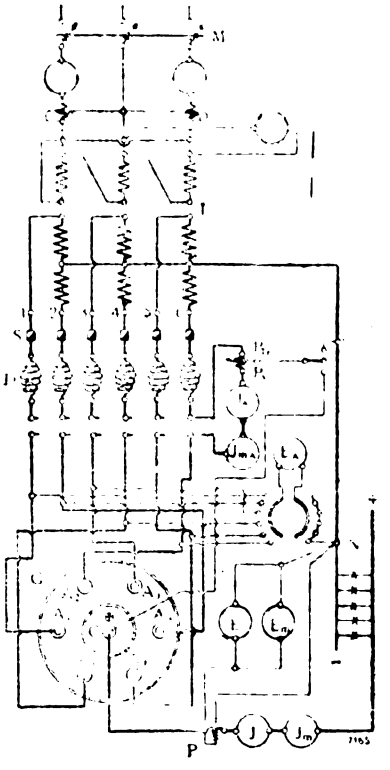


Fig. 2. — Schéma des connexions du redresseur.

M, disjoncteur à maximum; T, transformateur; S, fusibles; D, bobines de self-induction; G, redresseur; A_1 à A_6, anodes; C, cathode; N, réseau à courant continu; P_v, wattmètre mesurant les pertes sur l'une des phases du redresseur; J_A, ampèremètre thermique mesurant le courant anodique efficace; J_{mA}, ampèremètre à cadre mesurant le courant anodique moyen; E_v, voltmètre donnant la tension entre les anodes et le point neutre du transformateur; E, voltmètre thermique donnant la tension efficace; E_m, voltmètre à cadre donnant la tension moyenne; J, ampèremètre thermique donnant l'intensité efficace du courant redressé; J_m, ampèremètre à cadre donnant l'intensité moyenne du courant redressé; P, wattmètre branché sur le courant redressé.

B B C_2^3 de 80 A, 110 à 220 v, 50 p : sec avec 6 anodes, (fig. 1), alimenté par un transformateur de 17,5 kw-A, de 347/250 v primaires et 6 × 145 v secondaires, les bobines primaires étant montées en triangle et les secondaires en étoile hexaphasée. Le réglage de la tension s'obtenait par une bobine de self-induction à noyau mobile. Le schéma du montage est donné par la figure 2 dans le cas de l'alimentation hexaphasée au moyen des 6 anodes.

(1) *Schweizerische Bauzeitung*, 28 septembre 1918, t. LXXII, p. 117-120, 1400 mots, 13 fig.

Digitized by Google

Rendement en charge non inductive. — Pour la détermination du rendement, il faut tenir compte des pertes dans le redresseur, dans le transformateur et dans les bobines de réglage. Il faut d'ailleurs distinguer suivant que l'on veut maintenir la tension constante, ou que l'on néglige la chute de tension croissante avec la charge; les rendements sont assez différents dans ces deux cas. Dans les figures 3 à 5, les courbes 1 donnent les rendements wattmétriques du redresseur seul, les courbes 2 son rendement électrolytique, la courbe 3 donne le rendement énergétique de l'installation complète transformateur, bobines, redresseur; les courbes 4 représentent également le rendement électrolytique de l'installation complète, c'est-à-dire que les ordonnées de 4 sont le produit des ordonnées de 2 et 5, les courbes 5 expriment les rendements du transformateur et de la bobine seuls. Le rendement énergétique ou wattmétrique se rapporte aux watts réels fournis et rendus par le redresseur fonctionnant par exemple sur des lampes à incandes-

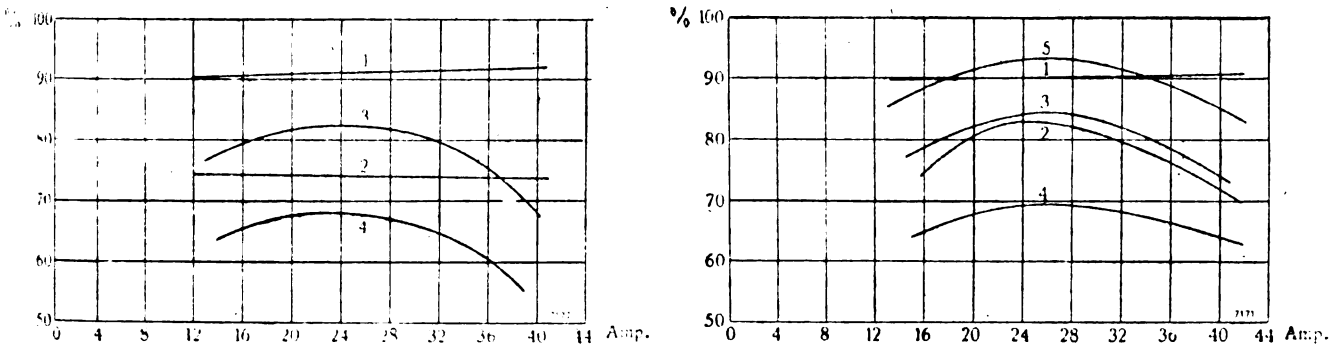


Fig. 3.— Rendement avec 2 anodes en fonctionnement; E_m = Cte = 198 v.

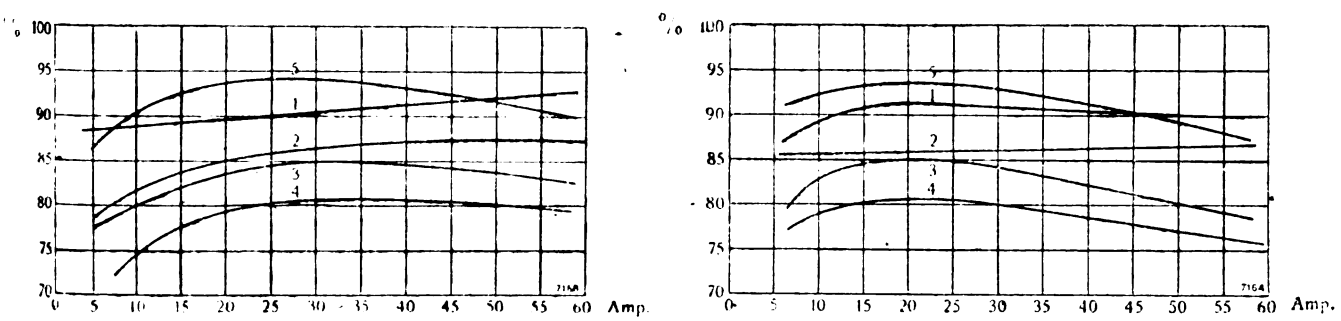


Fig. 4. — Rendement avec 3 anodes en fonctionnement; E_m = Cte = 198 v.

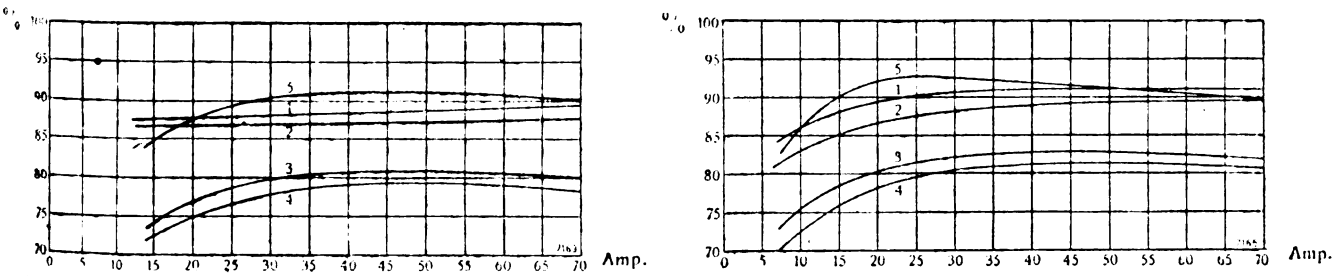


Fig. 5, — Rendement avec 6 anodes en fonctionnement; E_m = Cte = 140 v.

rence. Il est toujours supérieur au rendement électrolytique qui est le rapport aux watts fournis du produit $E_m I_m$ de la tension et du courant moyens produits par l'appareil. Le rendement électrolytique est celui qui intervient par exemple lorsque le redresseur charge une batterie d'accumulateurs; il ne tient pas compte de l'énergie due à la composante alternative qui se superpose au courant continu fourni par l'appareil. Il est essentiel de remarquer que les valeurs assez médiocres de ces rendements sont beaucoup plus favorables lorsque les tensions sont plus élevées et les charges plus considérables.

Chute de tension. — Le rendement dépend beaucoup de la chute de tension. Au moment de la formation de l'arc, la résistance, considérable entre l'anode et la cathode, tombe à une valeur très faible qui se maintient tant que le courant passe de l'anode à la cathode. Si l'on désigne par e_a la tension instantanée entre anode et cathode, relevée à l'oscillographe pendant le passage du courant, on remarque, comme le montrent les courbes 9 et 10 de l'oscillogramme (fig. 6), qu'elle est constante et égale à la chute de tension dans la colonne de vapeur.

Si l'on considère, par exemple, un redresseur triphasé à

Digitized by Google

3 anodes, la puissance dissipée dans l'appareil par phase pourra s'écrire

$$P_v = \frac{1}{T}\int_0^T e_{AC} i_A \, dt,$$

T étant la durée de la période et i_A le courant instantané.

Pendant le passage du courant, $e_{AC} = \varepsilon$ = constante ; d'autre part, on verra plus loin que l'on peut poser.

$$\frac{1}{T}\int_0^T i_A \, dt = \frac{I_m}{3}.$$

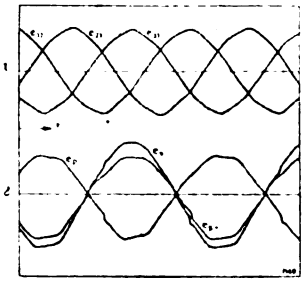
De sorte que l'on obtient finalement

$$P_v = \varepsilon \frac{I_m}{3}.$$

Soit pour l'ensemble des 3 phases

$$P = \varepsilon I_m.$$

La chute de tension ε peut pratiquement être déterminée à l'aide d'une batterie d'accumulateurs alimentant l'appareil, la vapeur de mercure ayant été préalablement ionisée ; la figure 7 donne les valeurs de la chute de tension en fonction de la charge, le degré de vide restant constant. La figure 8 donne au contraire ses valeurs pour différents degrés de vide à charge constante.



On peut aussi, pour déterminer les pertes dans l'appareil, faire simplement la différence des puissances lues aux wattmètres à l'entrée et à la sortie ; mais la précision obtenue n'est alors que d'environ 4 pour 100.

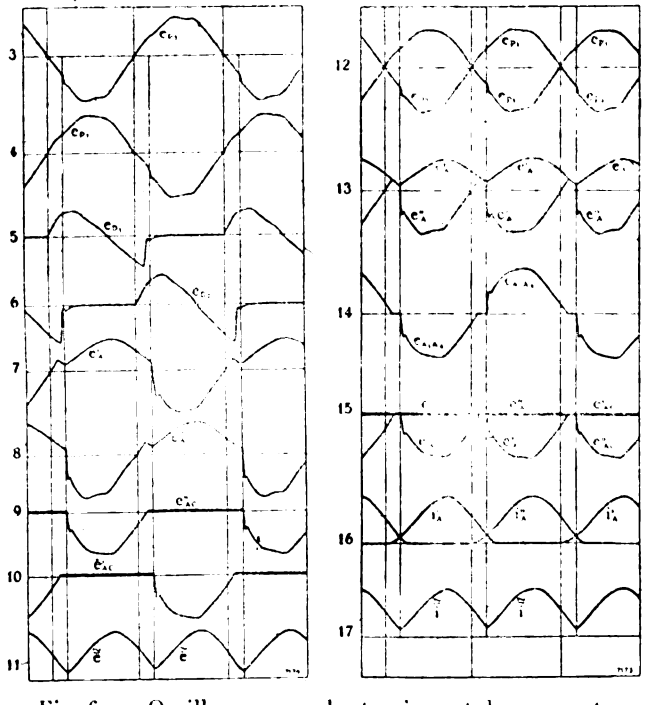


Fig. 6. — Oscillogrammes des tensions et des courants.

On peut aussi mesurer directement au wattmètre les pertes dans l'une des phases en utilisant le schéma de la

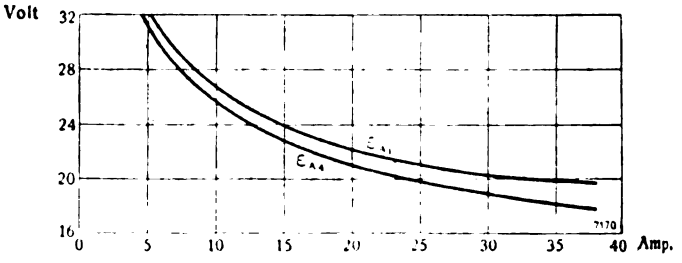


Fig. 7. — Chute de tension dans la vapeur de mercure décelée par courant continu. Vide de 0,01 à 0,015 mm de mercure.

figure 2 ; en divisant ces indications par la valeur efficace du courant anodique, on obtient la valeur efficace de la

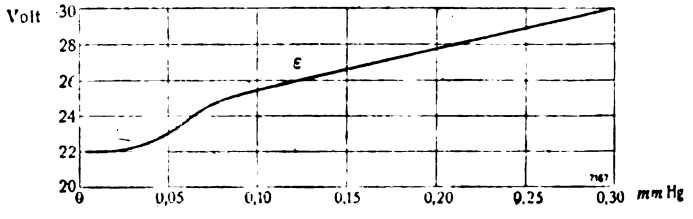


Fig. 8 — Chute de tension dans la vapeur de mercure pour un courant constant de 20 ampères, en fonction du vide dans le redresseur.

chute de tension dans la vapeur de mercure. Mais cette méthode n'est guère employée à cause de la difficulté de connaître le facteur de forme exacte du courant et aussi à cause de la manière très défavorable dont travaille la bobine de tension du wattmètre ; les résultats qu'elle donne sont erronés.

Relevés oscillographiques. — L'article donne ensuite une série de courbes relevées à l'oscillographe et montrant le mécanisme du redressement (fig. 6). Les courbes 1 et 2 sont celles de la tension primaire, les courbes 3 et 4 celles de la tension secondaire du transformateur ; les courbes 5 et 6 donnent l'allure de la tension entre le point neutre du transformateur et la borne de sortie de la bobine de réactance placée avant le redresseur, les courbes 7 et 8 la tension entre chaque anode et le point neutre, les courbes 9 et 10 la tension entre anode et cathode. Par suite de la propriété de l'appareil de ne laisser passer le courant que dans un sens, seules les parties supérieures des courbes telles que 3 sont utilisées, ce qui donne la courbe 11. Enfin la tension entre 2 anodes est donnée par les courbes 14 et 15, le courant à l'anode par la courbe 16 et le courant à la cathode par la courbe 17.

Courant. — Le courant recueilli est pulsatoire : le nombre de pulsations par période du courant d'alimentation est égal au nombre des anodes. Le degré d'oscillation qu'on peut exprimer par

$$s = \frac{I_{max} - I_{min}}{2\, I_{moyen}},$$

est d'autant plus faible que le nombre des phases est plus

Digitized by Google

élevé. Avec 2 anodes, on aurait $S_2 = 0{,}72$ et avec 3 anodes $S_3 = 0{,}45$.

Si l'on ne considère que les valeurs moyennes, on remarque que la somme des courants anodiques est égale au courant cathodique.

Si l'on mesure les courants avec des instruments donnant les valeurs efficaces, on aura pour un redresseur triphasé par exemple,

$$I = \frac{1}{T}\sqrt{\int_0^{\frac{T}{3}} i_A^2 dt + \int_{\frac{T}{3}}^{\frac{2T}{3}} i_A^2 dt + \int_{\frac{2T}{3}}^{T} i_A^2 dt},$$

$$= \frac{1}{T}\sqrt{3 I_A^2 T} = I_A\sqrt{3}.$$

On montrerait de même que, pour un redresseur monophasé, $I = I_A\sqrt{2}$ et que, pour un redresseur hexaphasé,

$$I = I_A\sqrt{6}.$$

J. C.

Les caractéristiques de l'ampère-heure-mètre à collecteur (1).

On a discuté beaucoup sur la théorie des ampères-heure-mètres, en particulier en ce qui concerne l'effet de l'addition d'un frein à courants de Foucault. Aussi, l'auteur reprend-il la question par le calcul dans le cas d'un appareil non freiné et du même appareil freiné. Dans les deux cas l'erreur est la même. On sait que les premiers types de ce genre de compteurs consistaient en un petit moteur connecté aux bornes d'un shunt à faible résistance placé dans le circuit d'utilisation. Comme il n'existe pas de freinage, aussitôt que le courant traverse le shunt, l'armature se met à tourner et s'accélère jusqu'à ce que le courant d'armature devienne juste assez considérable pour développer un couple suffisant pour vaincre les frottements. Désignons la résistance de l'armature par R, celle du shunt par r, le flux total par B, le nombre de tours de l'armature par N, le couple de frottement par f, les courants dans la ligne, le shunt et l'armature par C, C_s et C_a ; égalons le couple développé par le moteur au couple de frottement ; on a

$$KBNC_a = f,$$

K étant une constante. Egalons les forces électromotrices dans le shunt et dans l'armature, il vient

$$KBN\omega + C_aR = C_sr,$$

ω étant la vitesse angulaire. Se rappelant que $C_a + C_s = C$ et éliminant C_a, nous obtenons

$$\omega = Cr/KBN - f(R + r)/(KBN)^2.$$

Si on fait $f = 0$ dans cette équation, le premier terme donnera la vitesse idéale, et l'erreur en pour cent aura pour expression

$$e = -100\left[f\frac{R + r}{KBNCr}\right].$$

On voit que l'erreur est inversement proportionnelle à la charge et que la courbe de l'erreur en fonction de la charge est une hyperbole équilatère. L'erreur pour une charge donnée est proportionnelle au frottement et inversement proportionnelle au flux. Un accroissement de B non seulement fera décroître la vitesse mais, de plus, augmentera l'erreur. L'effet d'une variation de R et de N n'est pas aussi simple, car ces quantités ne sont pas nécessairement indépendantes.

Si on suppose le poids de cuivre de l'armature constant, la résistance de l'enroulement sera alors approximativement proportionnelle à N^2. Supposant que, dans ces circonstances, f demeure constant, il est facile de voir que l'erreur est minimum quand la résistance d'armature est égale à la somme des résistances du shunt, du collecteur et des balais. Ce résultat est de peu d'importance pratique, car il conduirait à une vitesse excessive.

Actuellement, les valeurs limites de $\frac{\omega}{C}$, B et r sont fixées par des considérations pratiques, ce qui fixe aussi la valeur de N. La valeur de R dépendra donc seulement du poids d'armature permissible.

L'expression ci-dessus de l'erreur d'un compteur non freiné représente son erreur initiale seulement, et pas nécessairement son erreur après un service prolongé. Au cours du fonctionnement, les frottements augmenteront, les aimants s'affaibliront et la résistance au contact des balais augmentera. L'effet d'une modification de B sera d'accroître la vitesse idéale du compteur et comme celui-ci a été réglé pour la vitesse du début, on arrivera à une erreur d'enregistrement. Comme la vitesse, en négligeant le terme relatif à l'erreur, est inversement proportionnelle au flux, un petit changement de la valeur de B provoquera un changement proportionnel de ω. L'effet d'un changement de R, dû à un frottement plus considérable des balais, n'affectera pas les caractéristiques de l'appareil, mais seulement l'erreur. Une augmentation de 10 pour 100, par exemple, de la valeur de R signifiera qu'un compteur ayant une erreur de 3 pour 100 aura cette erreur portée à environ 3,3 pour 100, ce qui est négligeable. L'effet relativement faible d'un changement de résistance au contact des balais dans un compteur non freiné était à signaler.

La vitesse du compteur non freiné est très élevée, et dans beaucoup de types, on la réduit par l'addition d'un frein à courants de Foucault. Dans les compteurs ayant une armature en disque, l'enveloppe en aluminium qui entoure les bobines sert de frein. L'effet du frein est de réduire la vitesse jusqu'à ce que le courant d'armature soit suffisant pour développer un couple égal à la somme des couples de frottement de freinage. Egalant ces couples, nous avons, m étant une constante dépendant de la forme et du métal du frein,

$$KBNC_a = f + mB^2\omega,$$

et

$$KBN\omega + C_aR = C_sr.$$

Eliminant C_a, nous obtenons

$$\omega = \frac{KBNCr - f(R + r)}{(KBN)^2 + mB^2(R + r)}.$$

La vitesse du compteur a été ainsi réduite ; le rapport de la vitesse non freinée à la vitesse freinée est

$$1 + \frac{m(R + r)}{K^2N^2}.$$

(1) G.-W. Stubbings. *The Electrical Review*, Londres, 15 novembre 1918, t. LXXXIII, p. 460-461, 2 000 mots.

Digitized by Google

L'erreur en pour cent sera

$$100\left[\frac{f(R+r)}{KBNCr}\right].$$

Cette expression est la même que celle obtenue pour le compteur non freiné. L'effet de l'addition du frein a été, par conséquent, de réduire seulement la vitesse, la précision initiale du compteur restant la même.

La vitesse idéale du compteur freiné peut s'écrire

$$\frac{KNCr}{B\left[K^2N^2+m(R+r)\right]}$$

L'effet d'une diminution de B, par affaiblissement de l'aimant permanent, sera d'altérer la vitesse idéale et d'introduire une erreur de comptage égale au pourcentage de variation de B. On peut noter aussi que R, résistance de l'armature, apparaît dans l'expression de la vitesse initiale. Tout changement de R, dû à une augmentation de la résistance de contact des balais, altérera le calibrage du compteur d'une quantité dépendant du freinage. L'erreur du comptage causée par une telle altération de R sera, par conséquent, appréciable et, pour cette raison, il est nécessaire, dans les compteurs freinés d'avoir une armature de grande résistance, afin de diminuer l'erreur relative. De ce côté, on voit qu'il y a une différence marquée entre les compteurs freinés et non freinés.

On sait qu'un compteur à mercure shunté enregistre avec précision toutes les charges. Puisque dans un compteur à collecteur le contrôle est en partie affecté par la force électromotrice de l'armature, il convient d'étudier le compteur aux diverses charges.

Si L_s et L_a sont les coefficients de self-induction du shunt et de l'armature respectivement, nous avons, en égalant les forces électromotrices pour toutes conditions de marche

$$C_s r + L_s \frac{dC_1}{dt} = C_a R + L_a \frac{dC_a}{dt} + K_1\omega.$$

Remplaçons C_s par $C - C_a$, multiplions par dt, et intégrons entre T_1 et T_2, époques pour lesquelles $C = 0$; nous obtenons

$$rQ = (R+r)\int_{T_1}^{T_2} C_a dt + K\theta,$$

où Q est la quantité totale d'électricité qui a passé, et où θ est l'angle dont a tourné l'armature.

L'équation du mouvement peut s'écrire, I étant le moment d'inertie de la partie tournante

$$bC_a = m_1\omega + I\frac{d\omega}{dt}.$$

Multiplions par dt et intégrons encore entre T_1 et T_2, époques où l'armature est au repos

$$\int_{T_1}^{T_2} C_a dt = m_1\frac{\theta}{b}.$$

Combinant la deuxième et la quatrième équation, il vient

$$Q = \theta\left[\frac{K_1}{r} + \frac{m_1(R+2)}{br}\right];$$

et cette équation est précisément semblable à celle qu'on obtiendrait en supposant un courant constant. Le compteur à collecteur enregistrera donc avec exactitude à toutes charges.

Puisque la vitesse idéale du compteur non freiné est $\frac{Cr}{KBN}$, si on construit le shunt en un métal de coefficient de température négligeable, l'effet de la température sur la précision sera très faible; cet effet se fera seulement sentir sur le terme représentant l'erreur. La vitesse du compteur freiné, en négligeant la force électromotrice de l'armature, peut s'écrire

$$\omega = K_2 r\frac{\rho}{R+r},$$

où ρ est la résistivité volumique du métal du frein. Si α est le coefficient de température de ce métal, β celui des enroulement d'armature, et n le rapport des résistances de l'armature et du shunt, il est aisé de voir que le coefficient de température du compteur est

$$\alpha - \beta\frac{n}{n+1}.$$

Comme α et β s'appliquent habituellement au cuivre et à l'aluminium respectivement, et que $\frac{n}{n+1}$ est presque égal à l'unité, ce coefficient de température peut être rendu négligeable.

L'effet de la force électromotrice de l'armature sera de causer une augmentation apparente de n.

L'expression ci-dessus est ainsi plus mauvaise encore que ce qui existe en réalité.

P. V.

Représentations mécaniques des phénomènes électromagnétiques (1).

L'auteur définit d'abord ce qu'il faut entendre par représentation mécanique ou théorie mécanique de l'électromagnétisme : elle consiste à ramener les phénomènes à des mouvements de systèmes matériels. La difficulté est de savoir si les principes fondamentaux de la mécanique classique (principe de d'Alembert ou principe de la moindre action) peuvent s'appliquer simplement aux mouvements électromagnétiques, ou s'il ne faut pas plutôt y introduire des corrections dès que l'on dépasse certaines limites d'application. La théorie de la relativité d'Einstein introduit précisément une telle correction pour l'étude des oscillations de très courte durée (oscillations électromagnétiques) et de très grande vitesse de propagation. L'auteur estime que nous n'avons aucune raison de ne pas admettre de telles corrections pourvu que l'interprétation des phénomènes mécaniques ordinaires n'en soit pas troublée. Partant de là, il se propose de se faire une représentation mécanique de l'électron, du courant électrique et de l'aimant, sans faire appel à des moyens mathématiques compliqués. Il montre que les équations qui expriment les mouvements de l'éther dans le champ électromagnétique sont les mêmes que celles qui exprimeraient les oscillations d'un milieu élastique sous l'influence d'une particule qui changerait périodiquement de volume par contractions et dilatations successives. Il y a cinquante ans déjà que le

(1) Dr Artur Korn. *E. T. Z.*, 12 et 19 septembre 1918, t. XXXIX, p. 363-365, 4500 mots.

Digitized by Google

mathématicien norvégien Bjerkness a montré que deux particules sphériques animées de tels mouvements périodiques s'attirent de façon inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare lorsque leurs pulsations sont en phase (dilatations et contractions synchrones), et se repoussent lorsque les pulsations sont opposées (dilatation de l'une pendant la contraction de l'autre). L'auteur admet que l'électron est une sphère animée de telles pulsations et provoquant sur les particules voisines, grâce à l'élasticité du milieu, des pulsations analogues et synchrones. C'est la théorie « de l'oscillation universelle » par laquelle il explique la loi de la gravitation de Newton. Pour les attractions électriques, la difficulté est la suivante : si l'on admet que des particules électriques de même nom sont animées de mouvements synchrones, elles devraient s'attirer; or elles se repoussent. L'auteur admet que la différence provient du fait que, dans les phénomènes de gravitation, les mouvements des particules influent les uns sur les autres proportionnellement à leurs dimensions et en raison inverse de leur distance, de sorte que la position relative des particules en présence modifie la vitesse et le synchronisme de leurs pulsations et transforme en répulsion ce qui devrait être une attraction et inversement. Une telle transformation ne se produit pas pour les phénomènes électriques parce que les oscillations sont extrêmement rapides et que, pour ces mouvements très rapides, les particules sont impénétrables et les réfléchissent en quelque sorte intégralement. Toutes les oscillations étudiées en mécanique sont relativement lentes, et c'est pourquoi une telle transformation d'attractions en répulsions y est inconnue, mais il est facile de concevoir qu'elle s'applique à partir d'un certain moment lorsque les positions respectives des particules l'exigent.

L'électrostatique étant ainsi rattachée à la mécanique, l'auteur se demande pourquoi un mouvement rectiligne de particules électrisées (courant électrique) provoque un tourbillon autour de sa direction. Il admet que c'est là un phénomène général d'inertie qui ne dépend que des conditions initiales du mouvement et qui, une fois formé, se conserve comme les tourbillons qui se forment dans l'eau au passage d'un bateau rapide ou dans l'air au passage d'un projectile. En vertu de ce principe « de la rotation universelle », les électrons qui tournent dans un certain sens par rapport à la direction du conducteur se mettent en mouvement dans le sens positif, et ceux qui tournent en sens inverse s'ébranlent dans l'autre sens. De plus, en raison de leurs répulsions réciproques, les particules de chaque espèce se mettent à tourner autour de leur axe de translation commun (axe du conducteur) les positives dans un sens et les négatives dans l'autre. Par suite des pulsations des particules, ce tourbillon constant en engendre d'autres à l'extérieur du conducteur qui s'ajoutent dans tous les cas. L'auteur généralise ensuite la notion de force électromotrice en y faisant rentrer les forces pondéromotrices. Il explique la chaleur développée dans les conducteurs par le frottement des particules. La pulsation de toutes les particules étant la même explique tous les phénomènes de gravitation et d'électromagnétisme : la seule différence est que les particules électriques conservent strictement leur vitesse de pulsation, tandis que les particules graves peuvent changer ces vitesses de pulsation lorsque leur configuration géométrique varie. Cette différence explique que les dernières sont sans action sur les premières.

Si maintenant l'on considère deux assemblages de particules animées de semblables oscillations autour de leur position moyenne, ces deux assemblages se repousseront avec une force inversement proportionnelle à la 5e puissance de la distance qui les sépare, pourvu que celle-ci soit grande par rapport à leurs dimensions : cette loi est d'ailleurs admise dans la théorie cinétique des gaz de Maxwell pour expliquer leur conductibilité calorifique; elle est applicable aux molécules qui sont des assemblages de particules relativement très espacés. Quant aux mouvements des électrons qui peuvent se trouver à l'état libre dans un tel milieu matériel, leur vitesse est proportionnelle à la force électromotrice, la quantité de chaleur qu'ils dégagent par leur passage est proportionnelle au carré de leur vitesse et le coefficient de proportionnalité (résistivité) dépend de la nature des particules pondérables qui se trouvent en contact avec les électrons. Le développement mathématique de ces idées permet de retrouver tous les faits connus de l'induction électromagnétique, à condition que les variations du champ ne soient pas trop rapides. Dans ce dernier cas, qui est celui des rayons cathodiques et autres, il y a des difficultés spéciales. Néanmoins, il est possible de concevoir que, dans les phénomènes lumineux par exemple, les particules électriques effectuent des oscillations mécaniques autour de leur position moyenne. Quant aux particules magnétiques qu'Ampère considérait comme dues à de petits circuits électriques, l'auteur suppose que ce sont des particules pondérables liées à des électrons qui tournent autour d'elles en les accompagnant dans leurs oscillations.

J. C.

Les relais téléphoniques employés par l'Administration française (1)

Dans le but d'améliorer les communications téléphoniques et d'augmenter la portée des circuits, le Service d'Etudes de l'Administration des Postes et Télégraphes s'est livré à des recherches sur l'importante question des relais téléphoniques.

Ceux-ci sont constitués par des tubes à vide à trois électrodes, dont il est inutile de rappeler ici le fonctionnement bien connu; le dispositif, dû à M. Marius Latour, comprend

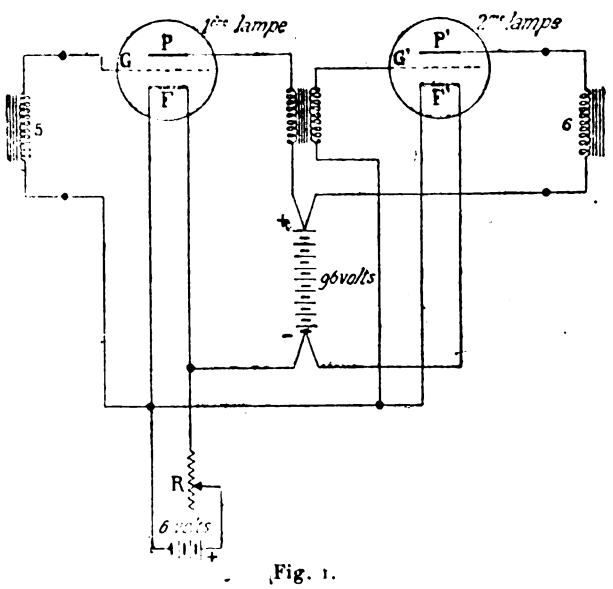


Fig. 1.

deux étages d'amplification, c'est-à-dire deux lampes montées en série, comme l'indique la figure 1. Les deux plaques

(1) *Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones*, septembre 1918, t. VII, p. 403, 2 400 mots, 4 fig.

Digitized by Google

P et P' sont portées à un potentiel positif, de 50 à 100 v, par exemple; les filaments sont chauffés à l'aide d'une source donnant 4 v, environ, aux bornes des lampes; enfin, les deux grilles sont reliées au pôle négatif de la batterie de chauffage.

Le relais, installé dans un poste situé sensiblement au milieu de la ligne, est monté d'après le schéma de la figure 2.

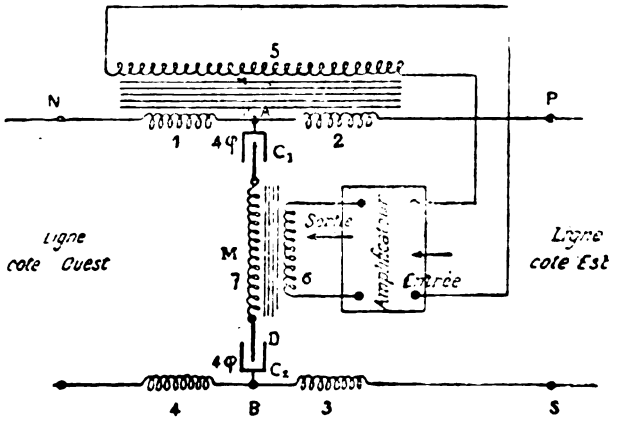


Fig. 2.

Les enroulements 1, 2, 3, 4 et 5 constituent un même transformateur. Les courants de conversation pénètrent dans l'amplificateur par l'enroulement 5 et en sortent, après amplification, par l'enroulement 6; ils gagnent la ligne par l'enroulement 7.

Les condensateurs C_1 et C_2, de 4 microfarads, empêchent que les courants de signalisation (courants continus ou courants alternatifs à basse fréquence) soient affaiblies par la présence de l'enroulement 7 en dérivation sur la ligne. Le transformateur 1-2-3-4-5 offre à ces courants une impédance d'environ 300 ohms pour 25 p : sec.

L'allumage et l'extinction des lampes sont effectués par les opératrices extrêmes; à cet effet, entre A et B (fig. 2) est branché en dérivation un électro-aimant de fin de conversation; cet électro-aimant F (fig. 3) présente une forte

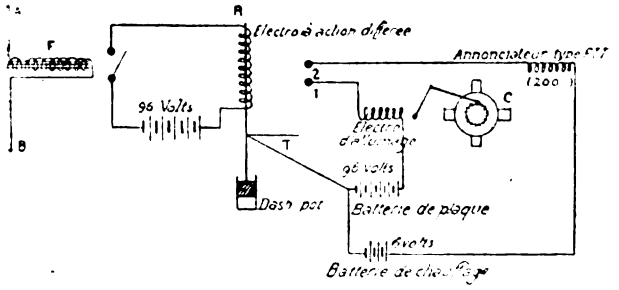


Fig. 3.

impédance pour les courants de conversation (500 ohms, 1,5 henry). Son armature, lorsqu'elle est attirée, ferme un circuit comprenant la batterie de 96 v; le courant de cette batterie circule alors dans un électro-aimant R dont l'action sur son armature est retardée par une sorte de petit frein à glycérine. Le ressort T se met lentement en marche vers le haut de la figure, et ferme successivement les contacts 1 et 2; le premier après le temps nécessaire pour compter lentement jusqu'à 5, et le second après le temps nécessaire pour compter lentement jusqu'à 20.

Lorsque le ressort T vient fermer le contact 1, le courant de la batterie de 96 v passe dans l'enroulement d'un électro-aimant dont l'armature actionne une came C; cette came allume les deux lampes du relais lorsque celles-ci sont éteintes, et les éteint lorsqu'elles sont allumées. Ce courant de signalisation ne produisant son effet que s'il est suffisamment prolongé, les appels et signaux de fin restent sans action sur le dispositif, qui ne peut ainsi troubler le trafic.

Afin d'éviter toute fausse manœuvre, l'opératrice qui a actionné le dispositif est avertie de son fonctionnement par un petit vibrateur, qui fonctionne sous une différence de potentiel de 6 v (batterie de chauffage).

Elle entend encore le même vibrateur si, à l'allumage, elle a envoyé un courant trop bref. D'ailleurs, dans ce cas, la faiblesse de l'audition suffit à lui indiquer que l'allumage ne s'est pas produit.

La mise hors d'usage de l'une des lampes de la station de relais est indiquée automatiquement par le dispositif de la figure 4; un annonciateur ordinaire comporte, en plus

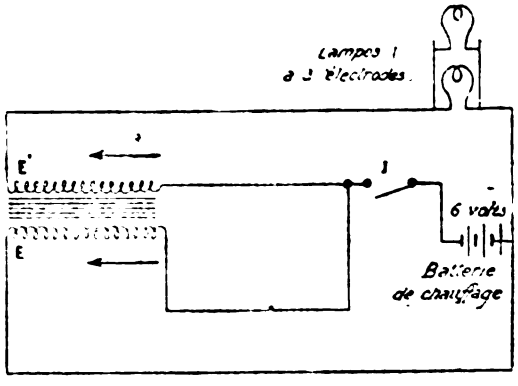


Fig. 4.

de son enroulement normal, E, un second enroulement, E' de peu de spires. Les enroulements sont connectés de telle façon que, lorsque les deux lampes sont allumées, les effets magnétisants des deux enroulements se neutralisent.

Lorsqu'une lampe ou toutes les deux viennent à ne plus fonctionner, l'enroulement E produit un effet prépondérant, et l'annonciateur fonctionne.

Afin d'assurer la surveillance du relais, le poste intermédiaire, en abaissant une clé, peut brancher en dérivation un poste téléphonique ordinaire entre M et D (fig. 2). Il peut ainsi non seulement surveiller le fonctionnement du relais, mais encore intervenir dans la conversation, car ce poste ainsi branché jouit des deux propriétés suivantes : son écouteur reçoit les courants amplifiés par le relais, tandis que les courants émis par son microphone sont envoyés sans amplification sur les deux sections de la ligne.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Sud-Electrique.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 17 DÉCEMBRE 1918.

Le réseau de la Compagnie a continué à être alimenté par l'Energie électrique du Littoral méditerranéen et la Société d'Electricité de la vallée du Rhône suivant les accords passés avec ces sociétés et par la Société des Forces motrices de la Vis exploitée par la Compagnie elle-même.

La sécheresse de l hiver 1917-1918 a un peu restreint les fournitures d'énergie et le moteur à combustion interne installé à Avignon a dû être utilisé.

Le nombre des kilowatts-heure livrés au réseau s'est élevé à 36 141 706 contre 39 383 265 l'année dernière.

Une nouvelle concession a été mise en service à Fabrègues dans l'Hérault.

Les concessions acquises non encore exploitées sont au nombre de 14 : 8 dans le Gard, 4 dans l'Hérault et 2 dans le Vaucluse.

Le nombre des concessions en service au 30 juin 1918 était de 158.

Le nombre total des communes alimentées directement ou indirectement au 30 juin 1918 s'élève donc à 182, en augmentation de 1 sur l'exercice précédent.

La population actuellement desservie est de 408 000 habitants environ.

La longueur des lignes primaires comprenant des lignes à 3 000, 5000, 13000 et 30000 v est passée de 1211 à 1231 km; celles des lignes secondaires est passée de 396 à 399 km.

Avec les lignes haute tension appartenant à la Société des Forces motrices de la Vis, la Société exploite actuellement 1719 km de lignes dont 1320 en haute tension et 399 en basse tension.

La clientèle a continué à progresser.

Au 30 juin 1918, la Société estime qu'elle alimentait une puissance installée (tant lampes que moteurs) de près de 22 000 kw.

Les recettes d'exploitation ont continué à augmenter malgré les restrictions que la guerre imposait, elles atteignent 3 506 498,59 fr. Les bénéfices ont continué leur marche ascendante grâce à la réduction du coefficient d'exploitation; ils s'élèvent à 1 672 216,87 fr, en augmentation de 206 653,02 fr sur ceux de 1916-1917. Après prélèvement des réserves d'amortissement, il reste disponible 887 178,08 fr, soit, avec le report précédent, 92 990,68 fr.

Il est versé 186 858,90 fr aux réserves légales. Un dividende de 6 pour 100 sera versé aux actions à partir du 26 décembre 1918 contre le coupon n° 4 :

14,25 fr aux actions de priorité nominatives ;

13,675 fr aux actions de priorité au porteur ;

et contre le coupon n° 2 :

14,25 fr aux actions ordinaires nominatives ;

13,85 fr aux actions ordinaires au porteur.

BILAN AU 30 JUIN 1918.

Actif.

	fr
Frais de constitution et augmentation du capital	1 »
Dépenses générales de premier établissement (concessions, usines, réseaux)	20 824 366,22
Forces motrices de la Vis	1 719 928,75
Chute Haute-Vis	457 399,35
Mobilier, outillage et moyens de transport	1 »
Compteurs et installations en location	742 023,20
Caisses et banques	446 804,39
Bons de la Défense nationale	1 700 000 »
Débiteurs divers et effets à recevoir	521 257,26
Cautionnements	15 050 »
Approvisionnements	509 555,80
Portefeuille	2 191 851 »
Prime de remboursement des obligations	504 855 »
Impôt sur le revenu et droits de transmission	39 141,45
Avances sur travaux en cours	194 890 »
Opération de change à terme garantie	1 500 000 »
	31 367 124,44

Passif.

	fr
Capital :	
39 500 actions de priorité de 250 fr chacune	9 875 000 »
4 500 actions ordinaires de 250 fr chacune.	1 125 000 »
Obligations 5 pour 100 (ancienne série) : 1227 obligations de 500 fr en circulation	613 500 »
Obligations 5 pour 100 (nouvelle série) : 19 458 obligations de 500 fr en circulation	9 729 000 »
Bons 6 pour 100	5 000 000 »
Réserve légale	134 247,61
Réserve générale d'amortissement	1 222 925 »
Fournisseurs et créditeurs divers	1 008 376,61
Coupons actions restant à payer	23 432,41
Obligations à rembourser, coupons obligations et bons échus	419 574,83
Coupon actions de priorité n° 4	592 500 »
Coupon actions ordinaires n° 2	67 500 »
Report à nouveau	47 067,98
Opération de change à terme garantie	1 500 000 »
	31 367 124,44

Compagnie électrique de la Loire et du Centre.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 26 NOVEMBRE 1918.

Les difficultés d'exploitation se sont encore accrues durant cet exercice. Le manque de main-d'œuvre et de matière première, ainsi que la sécheresse des bassins hydrauliques, ont empêché la Compagnie de maintenir la régularité dans son service de distribution. La Société des Forges, chargée du contrôle, a dû instituer des roulements pendant les périodes de basses eaux.

La production d'ensemble a atteint 163 701 065 kw-h dont 112 703 661 pour Saint-Etienne, 17 399 516 pour Roanne, 33 597 888 pour Montluçon.

Digitized by Google

Le nombre d'abonnés est de 28920 ; le nombre de lampes (réduit en unités de 35 w) de 162046, et le nombre de chevaux en force motrice branchée de 52733.

Il a été procédé à la réfection de plusieurs réseaux de communes rurales dans le secteur de Saint-Etienne, ainsi qu'à l'établissement des lignes et postes de transformation destinés à desservir de nouveaux clients.

L'usine hydro-électrique de l'Ance, mise en service au début de 1917, a donné satisfaction ; la production a atteint 26292000 kw-h.

Un cinquième groupe de même puissance que les autres a été commandé pour servir de secours ; il pourra donner une production supplémentaire durant les périodes de hautes eaux.

Le nouveau groupe de l'usine de Montaud n'est pas encore en service. Les bâtiments sont achevés, le groupe est monté, seules les chaudières ne pourront être mises en service avant plusieurs mois.

Dans le secteur de Roanne, la transformation du réseau aérien de 20000 v à 30000 v se poursuit.

Dans le secteur de Montluçon, il a été entrepris des travaux de réfection à la chaufferie qui procureront un supplément de puissance pour l'été 1919.

Les recettes d'exploitation ont été de :

10766602,28 fr pour le secteur de Saint-Etienne ;
1648787,80 fr — de Roanne ;
2205150,70 fr — de Montluçon ;

soit 14620540,78 fr pour les trois secteurs.

L'augmentation, par rapport à l'exercice précédent, est de 1538653,81 fr, environ 12 pour 100.

Les recettes diverses se sont élevées à 1161693,84 fr.

Les dépenses totales ont atteint 12924774,41 fr.

Les bénéfices sont de 2857760,21 fr contre 2226967,70 fr en 1916-1917.

Il est prélevé 327985,60 fr pour amortissements divers, et sur le reste 5 pour 100 à la réserve légale et 6 pour 100 de dividende sur 40000000 fr d'actions au prorata des versements effectués, soit 2164751,25 fr. Il reste alors un solde disponible de 238249,61 fr ; en y joignant le solde des exercices antérieurs, 299170,28 fr, il reste 537719,89 fr.

Sur cette somme, il est versé 10 pour 100 au Conseil d'administration, exclusion faite des reports sur lesquels sa part a été antérieurement prélevée, et 1 pour 100 de superdividende sur 40000000 fr d'actions. Le solde à reporter à nouveau est de 89568,19 fr.

Le dividende est donc de 17,50 fr par action libérée au 30 juin et de 17,1875 fr par action non libérée au 30 juin, payable à partir du 1er décembre contre remise du coupon n° 12 ou estampillage des certificats chez les banquiers de la Société.

BILAN AU 1er JUILLET 1918.

Actif.

	fr	
Apports, frais de constitution et de premier établissement	Mémoire.	
Mobilier, outillage, chevaux, voitures et automobiles		1 »
Acquisitions et dépenses faites en vue de projets nouveaux		1 »
Immobilisations :		
Secteur de Saint-Etienne	40 917 629.82	
Secteur de Roanne	9 023 448.44	
Secteur de Montluçon	10 331 790.70	
A reporter	60 272 870.96	
Report	60 272 870.96	
Appareils en location	2 054 636.09	
Terrains, droits de riveraineté et divers	1 218 379 »	
Prime de remboursement et frais d'émission des obligations et des bons	2 924 930.73	
En caisse	258 454.51	
En banque	1 696 394.12	
Actionnaires	2 852 451.54	
Abonnés et clients	1 961 566.09	
Impôts et droits à recouvrer	185 032.64	
Cautionnements	124 512 »	
Débiteurs divers	3 446 306.80	
Bons de la Défense nationale 5 pour 100 à six mois	23 200 000 »	
Portefeuille et participations	5 941 053 »	
Bons de la Défense nationale en dépôt de garantie	2 844 000 »	
Opérations de crédit garanties	1 000 000 »	
Marchandises en dépôts et magasins	2 675 680.04	
	111 656 267.52	

Passif.

	fr	
Capital représenté par 160000 actions de 250 fr	40 000 000 »	
Obligations :		
Loire 4 1/2 pour 100, émission de 1904	90 000 »	
Loire 4 1/2 pour 100, 1re émission de 1909	1 866 000 »	
Loire 4 1/2 pour 100, 2e émission de 1909	1 540 000 »	
Loire-Centre 5 pour 100, série A	14 476 500 »	
Loire-Centre 5 pour 100, série B	9 575 000 »	
Loire-Centre 6 pour 100	15 000 000 »	
Bons 6 pour 100	3 000 000 »	
Réserve légale	703 641.20	
Fonds de renouvellement	1 500 000 »	
Réserve générale pour amortissements	5 193 000 »	
Coupons restant à payer et intérêts courus sur obligations	3 471 022.25	
Obligations à rembourser	139 788.51	
Créanciers divers	14 011 747.37	
Opérations de crédit garanties	1 000 000 »	
Reliquat des exercices antérieurs appartenant aux actionnaires	89 568 19	
	111 656 267.52	

Energie électrique du nord de la France.

Assemblée générale du 10 janvier 1919 à Paris. L'assemblée a approuvé les propositions du Conseil d'administration, tendant à clore l'exercice 1914 le 31 juillet 1914, et à fusionner tous les exercices de guerre en un seul exercice commençant le 1er août 1914 et clôturé le 31 décembre 1918 ; elle a donné mandat au Conseil d'administration de faire le nécessaire pour régulariser cette dérogation à l'article 40 des statuts.

Société roubaisienne d'éclairage par le gaz et l'électricité.

Assemblée générale du 10 janvier 1919, à Paris. Après avoir entendu le rapport du Conseil d'administration sur la situation de la Société, elle a approuvé les propositions du conseil d'administration tendant à clore l'exercice 1914 le 31 juillet 1914 et à fusionner tous les exercices de guerre en un seul exercice commençant le 31 décembre 1918 ; elle a donné mandat au Conseil d'administration de faire le nécessaire pour régulariser cette dérogation à l'article 40 des statuts.

Digitized by Google

SECTION DE LÉGISLATION

Les nouveautés de la loi fiscale du 31 décembre 1918

La loi qui a paru au « Journal officiel » du 1er janvier 1919 contient des articles particulièrement intéressants, d'abord pour tous les contribuables en général, et ensuite pour tous les assujettis à la contribution dite des Bénéfices de guerre. Constatons — et le fait est assez rare pour mériter une constatation toute spéciale — qu'il n'y a pas d'augmentation de tarif, mais que certaines facilités de paiement sont au contraire données.

I. — Quand et comment paierons-nous nos impôts de 1918? Je parle tout particulièrement de l'impôt sur le revenu et de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux, ou sur le bénéfice des professions libérales, en un mot, des impôts créés par la loi de 1914 (impôt sur le revenu) et la loi du 31 juillet 1917 (impôt sur le remplacement des patentes). Les contribuables zélés qui auraient voulu, par habitude, faire le geste traditionnel de décaissement, en auraient été empêchés par ce phénomène assez rare que les rôles n'ont pas été publiés encore : fait à peu près unique dans les annales fiscales : c'est l'administration qui est en retard pour réclamer. Comme l'a fait remarquer spirituellement un sénateur à la deuxième séance du 31 décembre (voir *Journal officiel* du 1er janvier 1919, Sénat, p. 954, col. 3), cela signifie ou que l'administration fait un cadeau aux contribuables — auquel cas elle aurait droit à tous leurs remerciements — ou qu'elle va les condamner à payer en 1919 l'impôt de l'année 1918 qui sera écoulée, et l'impôt de 1919 pour l'année en cours, l'administration n'ayant pas l'habitude d'être deux fois de suite en retard. Le ministre a mis le délai exceptionnel pris par les agents du trésor, sur le compte des vides considérables que la guerre a créés dans les rangs des employés; parmi les contrôleurs : sur 1 200, il manque 300 tués, prisonniers, disparus. Mais on peut se demander avec M. Touron (Sénat, p. 957, col. 2) si la véritable raison ne se trouve pas dans les modifications profondes, apportées au cours de l'année 1918, par la loi du 29 juin à l'assiette de l'impôt, à l'échelle progressive de l'impôt sur le revenu — car rien ne gêne le travail d'un employé comme un bouleversement complet dans un tarif qui survient au moment même où allait être terminée la fixation individuelle, *la cotation*, pour appeler par le nom fiscal l'établissement et l'envoi d'un rôle.

Quoi qu'il en soit, ce n'est qu'en 1919 que nous recevrons nos feuilles, et, supposant que la loi n'ait rien innové sur ce point, l'impôt serait immédiatement exigible, puisqu'il est, d'après la loi, payable par douzième pendant l'année à laquelle il est afférent, et les douze douzièmes de l'année se trouvant écoulés. Et l'on n'aurait pas pu accuser le contribuable d'imprévoyance, ni lui reprocher de n'avoir pas fait dans son budget, ni tenu en réserve la part du fisc, les tarifs nouveaux étant absolument inconnus de lui; on n'admettrait pas facilement l'adage « nul n'est censé ignorer la loi » en présence d'un texte comme celui de l'article 2 de la loi du 29 juin 1918 qui demande pour être compris, une autre habitude que celle de la lecture courante.

C'est pour remédier à cet inconvénient que la loi de finances contient un article 13, ainsi conçu :

« Lorsque les rôles des contributions directes et des taxes assimilées dont le recouvrement s'opère par douzièmes sont publiés postérieurement au 31 janvier de l'année qu'ils concernent, les assujettis peuvent, en dehors des cas exceptionnels où le recouvrement immédiat est prévu par la loi, acquitter les douzièmes déjà échus en autant de fractions égales qu'il reste de douzièmes à échoir et en même temps que ces derniers.

» Toutefois, pour les rôles publiés après le 31 octobre, les contribuables ont la faculté de se libérer en trois fois, par versements mensuels égaux, dont le premier doit être effectué avant la fin du mois suivant celui de la publication. »

Remarquons d'abord que cet article n'a point l'allure d'une disposition exceptionnelle. L'administration, qui, autrefois, admettait en principe qu'elle aurait toujours envoyé ses rôles avant le 31 janvier, admet aujourd'hui qu'elle « peut » les envoyer après cette date : il aurait été plus simple de dire que, pour certains impôts (impôt sur le revenu et la plupart des impôts cédulaires), elle ne les enverra jamais qu'après cette date, puisque l'établissement du rôle suppose une déclaration que le contribuable a le droit de faire le 31 mars, comme dernier délai.

Supposons donc que le rôle soit publié le 1er juillet; aucun de nos lecteurs n'ignore que la date de cette publication se trouve toujours inscrite à gauche et en marge de la feuille d'avertissement qu'il reçoit. Six mois sont écoulés : six mois sont à échoir; en vertu du premier alinéa de l'article précité, les contribuables ne sont pas assujettis à payer d'une seule fois les six douzièmes échus, mais à chaque douzième à échoir, ils en paieront deux.

Du reste, pour préciser par une règle générale, le

Digitized by Google

calcul à faire, on peut donner l'indication suivante, pour tout rôle publié après le 31 janvier :

a) Diviser par douze le montant de la somme totale à payer, pour connaître le douzième qui sert de base ;

b) Au lieu de payer tous les douzièmes échus, diviser la somme qu'ils représentent par le nombre de mois à courir depuis la publication du rôle jusqu'au 31 décembre de l'année ; on obtient ainsi le quotient dit des « douzièmes échus » ;

c) Ce quotient représente la somme qu'il faudra verser au percepteur en plus de chaque douzième afférent à chacun des mois à échoir, de façon à ce que la cote soit complètement soldée au 31 décembre de l'année considérée.

Mais le même article prévoit dans son dernier alinéa un cas plus spécial, celui où le rôle est non seulement publié après le 31 janvier, comme dans le cas précédent, mais encore après le 31 octobre ; la règle ci-dessus donnée serait en effet presque illusoire. Supposons un rôle publié le 1er novembre, il y aura 10 douzièmes échus, dont le quotient par le nombre de mois restant à courir est de 5 douzièmes ; au mois de novembre, le contribuable aura à payer un douzième pour ledit mois, et en plus le quotient précité, soit, en tout, 6 douzièmes ; il en sera de même au mois de décembre ; il n'aurait donc que deux mois pour acquitter toute sa dette.

Aussi le dernier alinéa lui donne la facilité de faire un autre calcul que voici : Pour un rôle publié le 1er novembre ou plus tard, le contribuable doit effectuer son paiement en trois fractions égales, à verser en trois mois ; il reste à déterminer le point de départ du premier versement ; c'est ce que fait encore le dernier alinéa en disant que ledit versement aura lieu avant la fin du mois suivant celui de la publication. Pour un rôle publié le 1er novembre, le premier versement devra être fait le 31 décembre au plus tard, le second, le 31 janvier de l'année suivante, le troisième et dernier, un mois après.

II. — En ce qui concerne les bénéfices de guerre, la loi de finances n'est relative qu'à la question des pourvois. On connaît la fluctuation de la législation sur le caractère suspensif ou non de ce mode de recours à la Commission supérieure ; car, suivant l'usage, le législateur était allé d'un extrême à l'autre.

La loi du 1er juillet 1916 était muette sur la question : elle désignait toutefois sous le nom « d'appel » la formalité par laquelle un contribuable porte à la juridiction de la Commission supérieure (voir l'article onzième) et comme l'appel est, en principe, suspensif de toute exécution, on en avait conclu que tout pourvoi arrêtait la taxation même pour la partie non contestée et comprise dans la déclaration de l'assujetti. Il en était résulté de véritables abus : des pourvois téméraires, pour ne pas dire plus, avaient été intentés dans le seul but de retarder le paiement même de ce qui était dû.

Arrive la réaction de la loi du 31 décembre 1917 qui proclame le principe de la non-suspension, dans des termes d'une rigidité implacable ; l'article 7 de cette loi est ainsi conçu : « à partir de la promulgation de la présente loi, les rôles de la Contribution extraordinaire instituée par la loi du 1er juillet 1916 seront établis d'après les bases des cotisations fixées par les commissions du premier degré et mis immédiatement en recouvrement. Les contribuables conserveront néanmoins le droit de se pourvoir dans les conditions, formes et délais, prévus par la loi susvisée du 1er juillet 1916. Les bases de cotisation ainsi contestées n'auront un caractère définitif qu'après que la Commission supérieure aura statué et seront rectifiées, selon le cas... »

Cela veut dire que l'on devait commencer par payer la partie exigible sur les contributions d'après le calcul arrêté par la Commission,... sauf à obtenir un remboursement dans l'avenir ; or, quand on sait avec quelle désinvolture certaines commissions du premier degré ont jugé, quand on lit dans le recueil de la Commission supérieure la série des annulations portant sur des décisions premières qui, pour une erreur de droit, avaient admis la mauvaise foi et appliqué la pénalité du 50 pour 100, on est effrayé à la pensée que le contribuable devait d'abord payer et rester en butte à l'arbitraire, devant lequel il était systématiquement désarmé.

Et ces réflexions sont d'autant plus sérieuses, à notre avis, que le vice le plus grand de toute la loi est de bouleverser dans les sociétés ce que l'on appelle les moyens de trésorerie. On se demande presque si la plupart de ceux qui ont fait cette loi ne s'imaginent pas volontiers, en lisant un bilan qui se solde par des millions de bénéfices, que l'industriel a soigneusement plié dans son coffre-fort les billets de banque, qu'ils représentent, confondant ainsi les bas de laine de leur cuisinière avec l'évolution industrielle qui, si elle veut lutter contre l'étranger autrement que par des paroles et des étiquettes, si elle veut donner du travail aux salariés et faire œuvre vraiment nationale, doit à chaque année bénéficitaire augmenter ses moyens de production, les amortir rapidement, pour les remplacer à chaque nouvelle étape du progrès et de l'initiative privée. Mais être contraint à émettre des obligations, à charger un capital d'actions nouvelles pour avoir les fonds nécessaires, dans le seul but de désintéresser le fisc, c'est jeter l'arbre par terre pour en cueillir le fruit, ou, en style plus vulgaire, retarder la production qui amènera seule la détente des prix et la diminution du coût de la vie.

Quel est donc le moyen terme pris par le législateur, entre les deux extrêmes que nous avons plus haut signalés ?

Le premier consiste à permettre aux assujettis, qui ont fait un pourvoi, de prévenir le percepteur qu'ils entendent surseoir au paiement pour la partie qu'ils ont contestée sur leurs cotisations portées dans les rôles : Le paragraphe premier de l'article 15 s'exprime ainsi : « En cas de recours introduits devant la Commission supérieure contre les décisions des commissions du premier degré fixant les bases de la contribution extraordinaire instituée par la loi du 1er juillet 1916, les contribuables, à charge pour eux d'en informer le percepteur, pourront, jusqu'à qu'il ait été statué sur leurs pourvois,

Digitized by Google

surseoir à tout versement sur la partie contestée de leurs cotisations portées dans les rôles conformément à l'article 7 de la loi du 31 décembre 1917 ».

Premier résultat : au moyen du pourvoi, le contribuable n'échappe plus, comme il échappait avant la loi du 31 décembre 1917, au paiement de sa cotisation, même sur la partie qu'il avait déclarée, il échappe seulement au paiement immédiat de l'impôt contre lequel il a protesté, puisqu'il s'est pourvu. Cela est tellement juste qu'il est inutile d'insister, mais je suis convaincu que, dans la pratique, bien des industriels, comprenant le principe seront assez gênés pour le mettre en œuvre à leur profit. Prenons donc un exemple.

Supposons un industriel qui, d'après le calcul adopté par lui pour son bénéfice de l'année d'imposition et de son bénéfice normal, est arrivé à un bénéfice supplémentaire déclaré de 505 000 fr ; il ne se croit donc imposable que pour 500 000 fr, puisque, d'une façon générale, la soustraction de 5 000 fr est faite d'une façon automatique.

Malgré ses réclamations, la commission l'a taxé à un million, déduction faite des 5 000 fr forfaitaires.

Un pourvoi est intervenu, et comme, en vertu de la loi du 31 décembre 1917 même pour les décisions antérieures à cette date, le pourvoi n'est plus suspensif, l'administration va faire son calcul en appliquant évidemment au chiffre d'un million, les tarifs de cette loi de 1917, savoir :

Aux premiers 100 000 fr, 50 pour 100.....	50 000 fr
A la tranche entre 100 000 et 250 000, soit à 150 000 fr, 60 pour 100.....	90 000
A la tranche entre 250 000 et 500 000, soit à 250 000 fr, 70 pour 100.....	175 000
A la tranche entre 500 000 et 1 000 000, soit à 500 000 fr, 80 pour 100.....	400 000
Le total de sa contribution sera donc de ...	715 000 fr

Et le premier avis de paiement que l'assujetti va recevoir lui indiquera que le premier quart exigible est de 178 750 fr.

La nouvelle loi permet à l'assujetti de signifier au percepteur qu'il ne paiera que le quart de ce qu'il aurait dû payer si son chiffre de 500 000 fr avait été admis ; en jetant les yeux sur le tableau ci-dessus, on voit que le chiffre total de l'impôt, pour un bénéfice supplémentaire de 500 000 fr, aurait été de 315 000 fr, dont le quart est de 78 750 fr, d'où différence colossale de décaissement.

Et il en sera ainsi tant que le procès ne sera pas jugé, par la Commission supérieure.

Le procès, après avoir suivi son cours, sera ou gagné ou perdu par le contribuable. Dans la première hypothèse, l'administration n'a rien à réclamer, puisqu'elle a touché toute la somme à laquelle elle avait évidemment droit. Dans la seconde, on ne saurait admettre que le trésor fut en perte du chef de la faveur accordée par la loi nouvelle, aussi le contribuable aura-t-il à payer, en plus du chiffre qui lui était réclamé, un intérêt pendant une période dont le terme sera évidemment la date de la décision rendue par la Commission supérieure, et dont le point de départ sera l'époque à laquelle le quart de la contribution réclamée était exigible. Cette mesure a été inspirée à la fois par un désir de justice, et aussi dans le but de décourager l'industriel de tout pourvoi qui ne serait pas fondé ; les intérêts seront payables sans retard puisque l'assujetti aura joui de ses fonds pendant le temps qui lui a été accordé ; et ils seront réclamés, comme en matière de contribution directe, par la voie d'un rôle établi à cet effet.

Enfin la loi, indiquant bien que la mesure ci-dessus analysée est une faveur, permet à tout contribuable d'y renoncer. Si le réclamant, en cours d'instance, s'aperçoit que son pourvoi n'a aucune chance d'être admis, par exemple, si des pourvois absolument identiques ont été jugés contrairement à la thèse qu'il soutient, il pourra renoncer au délai demandé, se dispenser d'être soumis à un intérêt qui deviendrait une charge stérile ; dans ce cas, il ne paiera que l'intérêt couru au jour de son désistement.

Telles sont rapidement condensées les règles contenues dans les quatre derniers paragraphes de l'article 15 de la loi, ainsi conçu :

« Les industriels et contribuables dont le recours sera rejeté en tout ou en partie auront à acquitter, en sus de la contribution fixée par la Commission supérieure, un intérêt calculé à raison de 6 pour 100 par an, sur la portion de contribution dont ils auront différé le paiement par application du présent article, d'après le nombre des mois et fraction de mois écoulés entre la date à laquelle l'imposition aurait été exigible, et la date de la décision de la Commission supérieure.

» Les contribuables seront tenus au versement immédiat des intérêts ainsi mis à leur charge ; il sera établi à cet effet des titres de perception dont le recouvrement sera poursuivi comme en matière de contributions directes.

» En cas de dissolution de société, de faillite ou de liquidation judiciaire, de cession ou cessation de commerce, les contribuables cesseront d'avoir droit au bénéfice du sursis et les intérêts ne seront dus que jusqu'à la date où ce sursis aura pris fin.

» De même, les contribuables qui, après avoir obtenu le bénéfice du sursis, renonceraient à s'en prévaloir, ne seraient redevables que d'intérêts calculés jusqu'à la date à laquelle ils auraient prévenu le percepteur de leur intention. »

III. — Les autres articles de la loi de finances du 31 décembre 1917 sont bien loin de présenter le même intérêt pratique. Signalons toutefois ce qui suit :

1° L'article 11 de la loi du 1er juillet 1916 est complété en ce sens que les fonctions d'auditeur à la Commission pourraient être confiées soit à des auditeurs, soit à *des maîtres des requêtes* du Conseil d'État et soit à des auditeurs et à des *conseillers référendaires* de la Cour des Comptes, alors que le premier texte ne visait que

Digitized by Google

des auditeurs pris dans l'une ou l'autre de ces hautes juridictions.

Si cela devait hâter les travaux de la Commission supérieure, il n'y aurait qu'à s'en féliciter; car il faut reconnaître que ce n'est pas l'ouvrage qui lui manque. Un député, curieux par caractère, a demandé le 12 septembre 1918 à M. le ministre des Finances combien il existait à ce moment de pourvois inscrits à la Commission, et combien, depuis le début des hostilités, celle-ci avait rendu de solutions. Le ministre répond à M. André Hesse, dans le « Journal officiel » du 28 septembre 1918 (p. 2539 des documents parlementaires) que le nombre des recours enregistrés au secrétariat de la Commission supérieure instituée par la loi du 1er juillet 1918 s'élevait au 10 septembre 1918 à 6896, et celui des recours examinés par la Commission depuis sa première réunion (février 1917) s'élevait à 1995, dont 1692 ont fait l'objet d'une décision définitive et 303 ont amené un supplément d'instruction. On fait donc bien de renforcer le nombre des magistrats pour que les affaires puissent être jugées plus rapidement, sans être pour ce motif moins bien examinées; nul n'ignore que le rôle de l'auditeur à la Commission est celui de rapporteur de chaque affaire; c'est par ses mains que passe le dossier et l'avis contenu dans son rapport a toujours une importance considérable.

2 Certaines sociétés particulièrement intéressantes, habitations à bon marché, crédit immobilier, sont délivrées des impôts cédulaires qui ont été édictés par la loi du 31 juillet 1917 sur les bénéfices industriels et commerciaux, ainsi que de l'impôt sur les intérêts des prêts qu'elles consentent; il en est de même pour les intérêts des prêts consentis par les caisses d'épargne au profit des particuliers, conformément à l'article 16 de la loi du 12 avril 1906.

3° Des particuliers ayant leur domicile ou un établissement dans la circonscription d'un bureau de poste, peuvent être autorisés à retirer eux-mêmes leur correspondance dans ce bureau; ils doivent alors payer une taxe qui varie d'après les dimensions de la boîte et le chiffre de la population : le plus petit modèle est tarifé à 20 fr au minimum et à 48 fr (Paris) au maximum; le plus grand modèle est tarifé de 24 fr à 60 fr (Paris). Il pourrait y avoir de ce chef une source de revenus pour le Trésor, en même temps qu'une diminution de service pour les facteurs. Le double avantage qui en résulterait est tellement palpable et évident qu'on peut présumer — et même prévoir — que la place disponible manquera dans les locaux administratifs, afin que cette double utilité ne puisse être obtenue. L'État ne s'enrichirait-il pas aujourd'hui si, dans les monopoles dont il est le conservateur jaloux, il pouvait fournir tabac et allumettes?

Paul Bougault.
Avocat à la Cour d'appel de Lyon.

Législation, jurisprudence, réglementation

Documents de jurisprudence.

Arrêt de la Cour d'Appel de Paris du 16 novembre 1916 (1re chambre).

L'importante question des droits de voirie étant toujours la préoccupation des électriciens, nous donnons ci-dessous un arrêt qui permet au fisc de se servir des droits de son débiteur et de se faire payer par le locataire, qui doit au propriétaire le montant de son loyer (arrêt figurant à la *Gazette des Tribunaux*, du 5 octobre 1917).

A Paris, en vertu de l'article 58 de la loi du 30 mars 1902 sur le budget de l'exercice 1902, les droits de voirie sont assimilables, au point de vue de leur nature et de leur mode de recouvrement, à l'impôt foncier, pour lequel les articles 1 et 2 de la loi du 12 novembre 1808 donnent au Trésor public une action sur les revenus de l'immeuble, et notamment sur les fermages ou loyers.

Aux termes des articles précités de la loi du 12 novembre 1808, les agents des contributions directes possèdent à l'égard des fermiers ou locataires un droit personnel les autorisant à se faire payer directement par ceux-ci des contributions foncières en l'acquit des redevables, quels qu'ils soient, sur les sommes qui peuvent être dues à ces redevables par les fermiers ou locataires; cette action directe est l'application au Trésor public du droit reconnu aux créanciers par l'article 1166 du code civil, d'exercer les actions de leur débiteur.

En conséquence, les poursuites visant le propriétaire de l'immeuble, redevable de l'impôt foncier ou des droits de voirie, étant indépendantes en la forme de celles qui concernent les fermiers ou locataires, les nullités, actuelles ou éventuelles des poursuites contre le propriétaire ne peuvent en rien réfléchir sur la validité des poursuites qui sont exercées contre le fermier ou le locataire, lesquelles forment une procédure distincte, dont la valeur ne peut s'apprécier que d'après les éléments qui le composent.

A la date du 28 mars 1914, le tribunal civil de la Seine a rendu le jugement suivant, qui expose les circonstances de la cause :

« Le tribunal,

» Attendu que les 11 octobre et 11 novembre 1912, M. le préfet de la Seine a pris contre le sieur Viguier, propriétaire de la maison sise 48, avenue de la Motte-Picquet, des arrêtés de recouvrement pour une somme de 2476,21 fr due à la Ville de Paris, à raison des droits de grande voirie et de petite voirie;

» Que le 13 septembre 1913, l'huissier ayant fait commandement audit propriétaire pour avoir paiement de la somme sus-énoncée, en vertu d'une contrainte décernée par M. le receveur municipal de la Ville de Paris, la concierge de la maison, 48, avenue de la Motte-Picquet, répondit que

Digitized by Google

Viguier était bien le propriétaire de cet immeuble, mais qu'elle ignorait complètement son adresse, et, que, de plus elle ne possédait aucun objet mobilier pouvant être saisi exécuté ;

» Que plusieurs voisins et divers commerçants du quartier ayant tous confirmé cette déclaration de la concierge, l'huissier dressa un procès-verbal de carence qui fut signifié le 18 septembre 1913 au sieur Viguier au Parquet de M. le procureur de la République près le tribunal de la Seine ;

» Qu'à la suite le receveur municipal, faisant usage des dispositions des lois du 12 novembre 1808 (art. 2) et du 30 mars 1902 (art. 58) fit sommation, le 22 septembre 1913, à Droin, pris comme débiteur de loyers vis-à-vis du sieur Viguier, propriétaire ou de tout autre propriétaire, principal locataire, gérant administrateur ou séquestre de l'immeuble dont s'agit, d'avoir à verser le montant des sommes qu'il pourrait devoir pour loyers de la boutique par lui occupée ;

» Que le 27 novembre 1913, Droin n'ayant pas répondu à ladite sommation le receveur municipal lui signifia un commandement aux mêmes fins ; et qu'enfin, faisant opposition à ce commandement, Droin a, suivant exploit de Ladrière huissier à Paris, du 2 décembre 1913, assigné M. le préfet de la Seine, représentant la ville de Paris, en nullité dudit commandement, parce qu'il n'existerait aucun lien de droit entre lui et Viguier ;

» Attendu qu'en premier lieu, Droin soutient que le commandement dont s'agit n'est possible, d'après la loi du 30 mars 1902 (art. 58), que si les loyers sont affectés à un privilège du Trésor public et que celui-ci n'existe sur les loyers mis par les locataires du propriétaire, que pour la contribution foncière de l'année échue et de l'année courante, conformément à l'article premier de la loi du 12 novembre 1808, paragraphe premier ;

» Mais attendu que les droits de voirie sont une sorte d'imposition réelle due par l'immeuble et par celui qui en est propriétaire à raison de sa seule qualité de propriétaire de l'immeuble ; que ces droits sont donc assimilés à la contribution foncière indiquée dans le paragraphe premier de la loi du 12 novembre 1808, et qu'ils ne sauraient être compris dans les contributions directes et personnelles dont il est question dans le paragraphe 2 de la même loi ;

» Attendu qu'en second lieu Droin prétend ne pouvoir être tenu du paiement qui lui est réclamé parce qu'il n'est pas locataire du sieur Viguier, contre lequel une procédure a été faite, mais d'une dame Viguier, fille de ce dernier, laquelle serait la propriétaire de la maison sise, 48, avenue de la Motte-Picquet ;

» Mais attendu que, si l'arrêté de recouvrement a été pris contre un propriétaire présumé, le receveur municipal a néanmoins, en vertu de la loi du 12 novembre 1808 une action directe contre les locataires pour le recouvrement de la contribution foncière, et ce, alors même qu'on n'aurait préalablement exercé aucune poursuite contre le redevable lui-même ;

» Qu'il s'ensuit que, si des poursuites ont été exercées d'abord contre le sieur Viguier, et si c'est une dame Viguier qui est propriétaire, le receveur municipal est en droit d'agir contre Droin, en sa qualité de locataire dans l'immeuble, à l'occasion duquel des droits de grande et de petite voirie sont dus :

» Par ces motifs ;

» Déclare Droin non recevable, en tout cas mal fondé en sa demande en nullité de commandement du 27 novembre 1913 ;

» L'en déboute ;

» Ordonne la continuation des poursuites sur les derniers errements de la procédure ;

» Condamne Droin en tous les dépens. »

M. Droin a interjeté appel de ce jugement et la Cour a rendu le jugement suivant :

« La Cour ;

» Considérant que la Cour n'a plus à examiner et à résoudre la question qui a été soumise aux premiers juges et solutionnée par eux, de savoir si les droits de voirie sont assimilables, au point de vue de leur nature et de leur mode de recouvrement, aux contributions personnelles et mobilières pour lesquelles le Trésor n'a d'action que contre le contribuable lui-même ou à l'impôt foncier, pour lequel les articles 1 et 2 de la loi du 12 novembre 1808 donnent au Trésor une action sur les revenus de l'immeuble, et notamment sur les fermages et loyers ;

» Considérant, en effet, que les règles en matière d'impôt foncier ont été déclarées applicables à l'espèce par le tribunal et qu'en appel Droin, abandonnant ses prétentions initiales, a formellement renoncé à faire désormais porter la discussion sur ce point ;

» Considérant qu'il persiste à incriminer le commandement dont il a été l'objet pour le motif que cet acte est la conséquence directe d'une contrainte nulle à son égard, parce qu'elle aurait été décernée non contre la dame Viguier divorcée Capdeville, la véritable propriétaire de qui il tient son bail, mais bien contre Viguier père, qui est un étranger pour lui et envers lequel il n'est redevable d'aucune somme, puisqu'il ne se rattache à lui par aucun lien juridique ;

» Que le fondement de cette action se trouve dans les dispositions de l'article 1166 du Code civil qui leur confèrent toute aptitude pour s'adresser directement aux locataires, selon les considérations d'opportunité ou d'utilité que les circonstances les amènent à envisager dans le but d'assurer la célérité et la sécurité du recouvrement à opérer ; qu'il s'ensuit que peu importe que la contrainte en question vise ou non le véritable propriétaire ; que peu importe même qu'elle ait été décernée, les poursuites visant le propriétaire indépendantes, en la forme, de celles qui concernent le locataire, et les nullités actuelles ou éventuelles de celles-là ne pouvant en rien réfléchir sur la validité de ces dernières qui forment une procédure distincte dont la valeur ne doit s'apprécier que d'après les éléments qui la composent ;

» Considérant au surplus que le commandement litigieux, en date du 29 septembre 1913, aux termes duquel Droin a été sommé de verser ses loyers au Trésor ne vise pas restrictivement et uniquement Viguier comme propriétaire, mais envisage expressément Droin comme débiteur de Viguier « ou de tous autres propriétaires » de l'immeuble, en sorte que Droin est bien mal venu à soutenir aujourd'hui que le commandement serait nul, comme le tenant pour le tiers débiteur d'une personne à laquelle ne le rattacherait aucun lien obligatoire ;

« Considérant enfin que la critique de Droin contre ce mode de procéder n'est pas sérieuse, quand il soutient que, si le locataire devait, comme l'a décidé le tribunal, être astreint à payer, alors même que l'arrêté de recouvrement et la contrainte consécutive auraient été pris contre le propriétaire supposé, le propriétaire courrait les risques graves de se trouver empêché de contester le bien-fondé de ses actes susdits et de la créance prétendue par l'administration :

» Considérant en effet, que si une semblable éventualité venait exceptionnellement à se produire, le propriétaire réel n'en serait aucunement lésé, puisque l'arrêté de recou-

Digitized by Google

vrement et la contrainte ne l'ayant pas effectivement atteint, il n'aurait connu les diligences et exigences de l'administration que par la communication de son locataire et que, dès ce moment, il aurait, sans avoir pu encourir dans le passé ou dans l'avenir aucune déchéance ou forclusion, toute latitude pour contester devant la juridiction compétente le bien-fondé de la réclamation et obtenir éventuellement tous les redressements et toutes restitutions nécessaires;

» Par ces motifs et tous autres non contraires des premiers juges, que la Cour déclare adopter;

» Dit qu'il a été bien jugé, mal appelé;

» En conséquence, confirme la décision entreprise; ordonne qu'elle sortira son plein et entier effet; condamne l'appelant à l'amende et aux dépens d'appel.

Paul Bougault,
Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

Arrêtés instituant un Comité d'études et de recherches scientifiques pour l'aménagement et l'utilisation des forces hydrauliques.

Le « Journal officiel » du 12 janvier 1919, publie, p. 453, les arrêtés suivants pris en date du 10 janvier 1919 :

Article premier. — Il est constitué au ministère des Travaux publics et des Transports un Comité d'études et de recherches scientifiques pour l'aménagement et l'utilisation des forces hydrauliques.

Art. 2. — Ce comité est chargé de préparer, de provoquer et de coordonner les études et recherches entreprises par les universités, les industriels et tous ceux qui s'intéressent au développement des forces hydrauliques. Il dispose, pour ce faire, de tous les organismes du ministère des Travaux publics et des Transports.

Art. 3. — Font partie du comité :

Le rapporteur du budget des Travaux publics au Sénat;

Le rapporteur du budget des Travaux publics à la Chambre des députés;

Le président et le rapporteur de la Commission des Forces hydrauliques à la Chambre des députés et au Sénat, le cas échéant;

Le directeur de la voirie routière (distributions d'énergie électrique) au ministère des Travaux publics et des Transports;

Le directeur de la navigation intérieure et de l'aménagement des eaux au ministère des Travaux publics et des Transports;

Le directeur de l'hydraulique agricole au ministère de l'Agriculture et du Ravitaillement;

Le chef du Service des forces motrices au ministère de la Reconstitution industrielle;

Le directeur de l'Enseignement supérieur au ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts;

Le président de la 2e section du Conseil supérieur des travaux publics;

L'inspecteur général des distributions d'énergie électrique au ministère des Travaux publics et des Transports;

L'inspecteur général des Forces hydrauliques au ministère des Travaux publics et des Transports;

Les recteurs des Universités de Grenoble, Toulouse et Nancy et un représentant technique de chacune d'elles;

Trois savants particulièrement qualifiés par leurs travaux en électricité mécanique, physique et chimie minérale;

Dix représentants des industries hydro-électriques ou électro-chimiques et métallurgiques.

Art. 4. — Les membres du comité sont nommés pour deux ans; les membres sortants peuvent être renommés.

Cessent de plein droit de faire partie du comité les membres qui n'exercent plus les fonctions ayant motivé leur nomination. Ils sont immédiatement remplacés par des membres appartenant aux catégories qu'ils représentent eux-mêmes, conformément aux dispositions de l'article 3.

Art. 5. — Le ministre désigne chaque année un président et deux vice-présidents, pris parmi les membres du comité.

Art. 6. — Sont adjoints au comité, en qualité de secrétaires, deux ingénieurs en chefs ou ordinaires des Ponts et Chaussées.

Cet arrêté est suivi du suivant qui nomme les membres du Comité d'études et de recherches scientifiques pour l'aménagement et l'utilisation des forces hydrauliques.

Article premier. — Sont nommés membres du Comité, pour les années 1919 et 1920 :

MM. Cordier, président de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques.

Blanchet, président du Comité technique de la Société hydro-technique de France.

Gall, secrétaire du Groupe de l'Electro-métallurgie de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques.

Barut, secrétaire du Groupe de l'Electro-Chimie de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques.

Giros (Alexandre), ingénieur hydraulicien, à Paris.

Marlio, ingénieur hydraulicien, à Paris.

Bouchayer (Hippolyte), ingénieur hydraulicien, à Paris.

Lépine, secrétaire de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques.

Keller, administrateur délégué de la Société des établissements Keller-Leleux, à Livet (Isère).

Rebuffel, président de la Société lyonnaise d'applications électriques, à Paris.

Kœnigs, membre de l'Institut, directeur du Laboratoire de mécanique à la Faculté des Sciences de Paris.

Janet (Paul), professeur à la Faculté des Sciences de Paris, directeur de l'École supérieure et du Laboratoire central d'électricité.

Chesneau, directeur de l'École nationale supérieure des Mines.

Art. 2. — Sont chargés respectivement des fonctions de président et de vice-présidents du Comité, pour l'année 1919 :

MM. Mahieu, directeur de la voirie routière au ministère des Travaux publics, président.

Coville, directeur de l'Enseignement supérieur au ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts, vice-président.

Cordier, président de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques, vice-président.

Art. 3. — Sont adjoints au Comité, en qualité de secrétaires :

MM. Houel, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Arbelot, ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées.

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF :
Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 5. — 1er FÉVRIER 1919.

Chronique. — Création d'un Syndicat des Constructeurs et Exploitants des moteurs à combustion interne. — Sur le traitement électrothermique des minerais de nickel de la Nouvelle-Calédonie. — Légion d'honneur. — Société française des Electriciens. — Bibliographie : La Femme et l'Enfant, p. 161-162.

Section scientifique et technique. — Sur les propriétés des circuits électriques dénués de résistance, par G. LIPPMANN, p. 163. — Sur l'influence de l'enveloppe sur les résistance et réactance effectives d'un câble armé pour les harmoniques 3, par R. SWYNGEDAUW, p. 165. — Revues, analyses et informations : Comité électrotechnique français, p. 166 ; Sur l'atome de Bohr et le magnétisme, p. 167.

Section industrielle. — Chariots transporteurs électriques pour manutention, par Jacques DESCHAMPS, p. 171. — Effets d'induction produits par le courant alternatif de traction sur les lignes téléphoniques et télégraphiques, par G. B. R, p. 175. — Carte des lignes télégraphiques d'Alsace, p 180. — Les abrasifs électrothermiques, par Jean ESCARD, p. 180. — Revues, analyses et informations : Conceptions physiques du fonctionnement du moteur asynchrone monophasé, p. 191 ; Production et consommation de l'amiante, p. 197. — Notes pratiques : Fer à souder électrique à arc, p. 198.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Etablissements Paz et Silva, p. 199 ; Est-Lumière (Compagnie d'Electricité de l'Est-Parisien). p. 199 ; Société industrielle des Téléphones, p. 200.

Création d'un Syndicat des constructeurs et exploitants des moteurs à combustion interne. — L'industrie de la construction des moteurs à explosion interne, très florissante en Allemagne, n'existe pour ainsi dire pas en France : En 1914, la puissance des moteurs Diesel en Allemagne dépassait 1 million de chevaux et 60 constructeurs se livraient à leur fabrication ; actuellement et bien que durant la guerre le nombre de ces moteurs se soit sensiblement accru, la puissance des moteurs Diesel installés en France ne dépasse guère 75000 ch, et ces moteurs sont presque tous de fabrication étrangère; une seule maison française fabriquait, avant la guerre, des moteurs de ce type pour installations terrestres.

Cet état de choses, déplorable pour notre industrie nationale, est, comme on sait, dû principalement au droit prohibitif de 90 fr par tonne qui frappe les huiles lourdes de pétrole et à l'insuffisance de notre production en huiles lourdes de houille. Avant la guerre, nous avions recours à l'importation des huiles de goudron allemandes ; depuis la guerre nous importons des huiles anglaises, mais les droits d'importation continuent à paralyser notre industrie. Il faut donc élargir le marché des huiles en modifiant les droits de douane comme l'ont fait l'Allemagne et l'Italie. Et cette modification est d'autant plus urgente aujourd'hui que l'Alsace-Lorraine possède un nombre important de moteurs Diesel.

C'est sous l'empire de ces préoccupations économiques qu'un Syndicat des constructeurs et exploitants de moteurs à combustion interne a été constitué le 30 décembre; il groupe déjà 21 sociétés ou personnes utilisant une puissance d'environ 35000 ch en moteurs Diesel, soit la moitié de la puissance totale utilisée en France, et parmi les sociétés adhérentes se trouvent la plupart des sociétés de production et de distribution d'énergie électrique qui emploient ces moteurs.

Ce Syndicat, dont le président est M. P. Nivart, directeur de la Compagnie parisienne de l'Air comprimé, et dont le siège social est 5, rue de Liége, a pour objet, d'après ses statuts :

« 1° La défense des intérêts de toute nature de ses adhérents : juridiques, économiques et sociaux, vis-à-vis des Pouvoirs publics, Chambres de commerce, et toutes sociétés ou groupements industriels, notamment l'amélioration du régime fiscal des huiles lourdes (douane et octroi) ;

» 2° L'approvisionnement de ses adhérents en huiles lourdes, soit par l'intermédiaire de sociétés distinctes, soit par la constitution de coopératives ou autres sociétés spéciales.

» La construction, l'acquisition, ou la location de tous immeubles nécessaires à cet approvisionnement et de tous moyens de transport. »

Son rôle immédiat consistera : à faire aboutir le projet de loi gouvernemental réduisant de 90 à 2,40 fr par tonne les droits de douane sur les huiles lourdes de pétrole ; à poursuivre la révision des droits d'octroi sur ces mêmes huiles et leur assimilation aux huiles de houille, afin que les consommateurs urbains ne soient pas indirectement frustrés de la réforme douanière (à Paris,

Digitized by Google

notamment, ces droits d'octroi sont de plus de 200 fr par tonne; à grouper par région les consommateurs d'huiles lourdes afin de leur permettre de traiter à des conditions moins onéreuses avec les distillateurs français et anglais.

Sur le traitement électrothermique des minerais de nickel de la Nouvelle-Calédonie. — Trois lettres ont été publiées sur ce sujet dans les numéros du 12 octobre et du 14 décembre 1918, t. IV, p. 522 et 898. La lettre ci-dessous vient de nous être adressée par M. J. Sigrist, ingénieur-directeur de l'usine Vve Ch. Bertolus, à Bellegarde :

J'ai lu avec grand intérêt les différentes communications publiées dans la « Revue générale de l'Electricité » relatives au traitement électrométallurgique des minerais de nickel de Nouvelle-Calédonie.

M'étant également occupé de cette question et remarquant qu'aucun des auteurs n'a mentionné la teneur en soufre du ferro-nickel, qui, à mon avis, a été jusqu'à présent la pierre d'achoppement du procédé électrothermique, je me permets de vous indiquer en quelques mots les résultats de mon étude.

Les essais de longue durée que j'ai effectués avec des fours industriels confirment absolument les résultats obtenus par M. Sabathier.

Il est facile, en réglant convenablement la densité du courant, ainsi que la composition du lit de fusion, d'obtenir un ferro-nickel à 55-60 pour 100 de nickel, avec une teneur en silicium de 0,1 pour 100 et en carbone de 0,5 pour 100 seulement, même en opérant dans un four avec *revêtement et sole en charbon*. Les laitiers ne contenaient que 0,3 pour 100 de nickel.

Toutefois, le ferro-nickel avait une teneur de 1 pour 100 en soufre en utilisant du coke comme réducteur ; l'emploi du charbon de bois permit de la réduire à 0,2 pour 100.

Cette dernière teneur était encore trop élevée pour permettre l'utilisation du ferro-nickel en métallurgie, les aciéristes exigeant une teneur maximum de 0,05 pour 100 en soufre. Je fus ainsi amené à procéder à la désulfuration du ferro-nickel et j'arrivai finalement à obtenir du ferro-nickel à 55-60 pour 100 de nickel, ne contenant plus que 0,02 à 0,03 pour 100 de soufre, qui donnait toute satisfaction aux aciéristes.

J'ajoute que la désulfuration n'entraîne aucune perte appréciable en nickel, que la teneur en silicium ne s'élève que très légèrement : elle passe de 0,1 à 0,2 pour 100 ; la teneur en carbone n'est également relevée que de 0,1 pour 100.

Je suis prêt à fournir des renseignements plus complets aux personnes que cela pourrait intéresser.

Légion d'honneur. — M. André Blondel, membre de l'Institut, vient d'être promu officier de la Légion d'honneur.

Nous ne pouvons qu'applaudir à cette promotion, juste récompense des nombreux services rendus à l'industrie électrique et à la défense nationale ; nous sommes certains d'être les interprètes des lecteurs de la « R. G. E. » en adressant à cette occasion nos sincères félicitations au président de notre Comité de Rédaction.

Société française des Electriciens. — Séance du 9 janvier 1919. — Les séances de la Société française des Electriciens ont repris, depuis le début de cette année, leur heure d'avant-guerre. Elles ont lieu le premier jeudi de chaque mois à 20 h 30, dans la salle de la Société d'Encouragement, 44, rue de Rennes.

La première réunion de cette année fut consacrée à l'audition de trois communications. La première, de M. Paul Janet, avait pour titre : « Un point rétrospectif dans l'histoire des unités électriques : les mesures internationales de Washington en 1910 ».

La seconde communication fut faite par M. de Marcherra et était relative à : « La marche en parallèle des alternateurs ».

Enfin, la troisième communication : « L'avenir industriel électrique en Roumanie » fut faite par M. Hurmuzescu, professeur à l'Université de Bucarest, qui montra quelle était l'emprise allemande sur l'industrie électrique roumaine avant la guerre et fit appel aux industriels français pour aider son pays à se débarrasser du joug économique de l'Allemagne.

Bibliographie : La Femme et l'Enfant (1). — Voilà un titre qui n'a rien de technique et que certains lecteurs pourront s'étonner de trouver dans ces colonnes. Mais il n'y a pas que la technique qui intéresse l'industriel ; il y a aussi l'économie sociale et les événements actuels montrent suffisamment que celle-ci n'est pas moins importante que celle-là dans la vie industrielle. Parlons donc de « La Femme et l'Enfant ».

Fondé récemment par le Dr Jacques Bertillon, qui, depuis un quart de siècle, a dénoncé le péril de la dépopulation de la France et qui est président de l'Alliance nationale pour l'accroissement de la population française, ce journal a pour principal but de répandre dans la petite bourgeoisie, dans le monde des employés et des ouvriers, les idées tendant à l'amélioration du sort de la femme et de contribuer ainsi à l'augmentation de la natalité. Mais il ne faudrait pas en conclure qu'il est exclusivement consacré à la dépopulation : il serait monotone et on ne le lirait pas. S'adressant à la famille, base de la Société, il contient tout ce qui intéresse la famille : économie ménagère, hygiène domestique, littérature et, en outre et surtout, devoirs sociaux. Ce dernier point, si austère qu'il soit, est traité sans austérité. On y trouve aussi des articles économiques, tels que celui de M. P. Vauclin, paru dans les numéros du 15 décembre et du 1er janvier, sur « le Taylorisme » où le sujet est traité avec le style qui convient aux lecteurs à qui il s'adresse, ou encore celui de M. Pierre Hamp, publié dans le numéro du 15 novembre et intitulé « Les métiers destructeurs » où nous relevons cette phrase : « L'ouvrière au travail aujourd'hui, c'est l'apprenti absent dans treize ans, le soldat dans vingt ans. Il est temps de concilier le salut social de la femme et sa liberté de travail par la mécanisation parfaite des métiers, l'aide à la maternité sous toutes ses formes ».

« La Femme et l'Enfant » se recommande donc à l'attention des chefs d'industrie qui, plus que jamais, ont à se préoccuper du bien-être matériel et moral de leurs employés et ouvriers.

(1) Journal bimensuel, publié sous le patronage de l'Alliance nationale pour l'accroissement de la population française. Directeur : Dr Jacques Bertillon. Administration, 29, rue de Tournon, Paris VIe. Prix de l'abonnement : un an, 15 fr, un mois, 8 fr.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Sur les propriétés des circuits électriques dénués de résistance

A la séance du 13 janvier 1919 de l'Académie des Sciences, M. Lippmann a présenté l'étude ci-dessous où il a rappelé les propriétés des circuits sans résistance, dont la théorie a reçu une si éclatante confirmation par les expériences de Kamerlingh Onnes sur les hyperconducteurs et montre que l'avantage qui résulte de la considération des résistances nulles, c'est que l'on aboutit à une relation établissant que les lois générales des phénomènes d'induction sont des lois statiques (1).

1. Tandis que les actions électriques à distance sont toutes indépendantes de la nature des conducteurs employés, la résistance électrique d'un circuit dépend au contraire de la nature du conducteur et de son état physique. Il s'ensuit logiquement que, si l'on veut établir les lois les plus générales des actions électriques à distance, il faut éviter d'introduire ou de laisser subsister dans l'analyse les termes qui dépendent de la résistance.

C'est pour des raisons analogues qu'en mécanique on a dû commencer par faire abstraction du frottement, sauf à le réintroduire par la suite dans les applications partielles où il en faut tenir compte. La résistance électrique est d'ailleurs, au point de vue analytique, l'analogue d'un coefficient de frottement.

Le terme dépendant de la résistance électrique masque, par sa présence, des lois très générales des phénomènes électro-magnétiques et de l'induction. Il y a donc avantage, comme je l'ai montré autrefois (2), à considérer le cas de la résistance électrique égale à zéro.

Les belles expériences de H. Kamerlingh Onnes sont venues apporter une sanction physique à l'hypothèse de la résistance nulle. On sait que le physicien hollandais a découvert que, lorsqu'on abaisse la température d'un métal (plomb, etc.) jusqu'à la température de l'hélium bouillant, la résistance, après avoir diminué graduellement, devient brusquement plus de 10^{10} fois plus faible qu'aux températures moins basses. Inversement, la théorie du circuit sans résistance s'applique aux expériences de Leyde et permet d'en préciser les résultats et d'en prévoir diverses variantes.

2. Rappelons d'abord l'équation qui régit les circuits dénués de résistance. Soit un circuit fermé dont la résistance a une valeur finie r et parcouru par un courant dont l'intensité est i au temps t. Le circuit est mobile par rapport à un champ magnétique quelconque, constant ou variable ; il peut en outre être rigide ou se déformer. Dans tous les cas, le champ magnétique induit dans le circuit une force électromotrice e égale à $\frac{dn}{dt}$, dn étant le nombre de lignes de force provenant du champ magnétique et qui coupent le circuit pendant le temps dt. D'autre part, le courant i produit un champ magnétique proportionnel à i et tel que dn' de ces lignes de force coupent le circuit pendant le temps dt. La force électromotrice d'induction e' du circuit sur lui-même est donc égale à $\frac{dn'}{dt}$. En résumé, le circuit est le siège de deux forces électromotrices provenant l'une du champ extérieur, l'autre de la self-induction, et qui sont respectivement égales à $\frac{dn}{dt}$ et à $\frac{dn'}{dt}$. On a donc, d'après la loi de Ohm,

$$(1) \qquad ri = \frac{dn}{dt} + \frac{dn'}{dt}.$$

Les termes du second membre sont indépendants de r ; on peut donc faire tendre r vers zéro, et pour $r = 0$ on a

$$(2) \qquad 0 = \frac{dn}{dt} + \frac{dn'}{dt}.$$

Il s'ensuit que l'on a

$$(3) \qquad \Delta n + \Delta n' = \text{const.} \quad \text{et} \quad n + n' = \text{const.}$$

Ainsi, quand le nombre de lignes de force dues au champ extérieur et qui traversent le circuit subit une variation Δn, le courant induit qui en résulte produit une variation $\Delta n'$ qui compense exactement la première. En d'autres termes, le nombre total des lignes de force magnétique demeure invariable ; et tout se passe comme si le circuit hyperconducteur demeurait infranchissable aux lignes de force.

3. Cette conclusion s'applique en particulier aux expériences de Kamerlingh Onnes. Une bobine fermée sur elle-même est immobile à la température ordinaire

(1) Pour les expériences de K. Onnes, voir *La Revue électrique*, 20 nov. 1914, p. 366; *Littérature des périodiques*, 6 nov. 1914, p. 58 et 59; *R. G. E.*, 21 déc. 1918, p. 1030.

(2) *Comptes rendus*, 1889, t. CIX, p. 251.

Digitized by Google

entre les pôles d'un électro-aimant : elle est alors sans courant, et la surface qu'elle renferme est traversée par n lignes de force dues à l'électro-aimant. On verse de l'hélium liquide. A partir du moment où le nickel est devenu hyperconducteur, le nombre de lignes de force reste invariable. On éloigne l'électro-aimant : la bobine reste traversée par un courant constant, comme Kamerlingh Onnes l'a constaté par diverses méthodes. D'après le théorème donné plus haut, ce courant est tel qu'il produit un nombre de lignes de force n' égal au nombre primitif n.

4. On a supposé implicitement dans ce qui précède que le circuit est linéaire, c'est-à-dire que le fil conducteur a des dimensions transversales que l'on peut considérer comme nulles. Qu'arriverait-il si, au lieu d'une bobine de fil, on utilisait un conducteur à trois dimensions ? La conclusion est la même que dans le cas d'une bobine fermée en elle-même.

Considérons par la pensée une ligne fermée de dimension infiniment petite prise dans la masse métallique. A partir du moment où le métal devient hyperconducteur, ce circuit élémentaire fonctionne comme celui de la bobine ; il maintient invariable les lignes de force qui traversent sa section. Celles-ci demeurent donc comme immobilisées dans la masse métallique.

Prenons le cas particulier d'un cylindre métallique, en plomb par exemple, de section S, de longueur L, placé dans un champ uniforme égal à H, avec son axe parallèle au champ. Le nombre de lignes de force qui traversent la section est SH à la température ordinaire ; il reste égal à SH à partir du moment où la résistance disparaît. Le champ enlevé, le cylindre se comporte comme un aimant cylindrique qui aurait un moment magnétique égal à SHL, c'est-à-dire au produit du volume par le champ primitif.

Si le cylindre, au lieu d'être plein, est creux, le même raisonnement s'applique aux éléments de la surface métallique : ceux-ci suffisent pour immobiliser les lignes de force. D'où cette conséquence que le moment magnétique acquis par ce pseudo-aimant en plomb a les mêmes valeurs, que le cylindre soit creux ou massif. Seulement la forme du champ magnétique qu'il produit n'est pas exactement la même dans les deux cas : ces lignes restent droites et parallèles entre elles à l'intérieur d'un cylindre massif ; elles s'infléchissent quelque peu à l'intérieur, quand le cylindre est creux.

5. Lorsqu'un circuit conducteur se déplace dans un champ magnétique, des forces électromagnétiques prennent naissance entre le champ et le courant induit : c'est par ce mécanisme que du travail mécanique se transforme en énergie électrique ou inversement. Quelle est la loi de ces forces quand le circuit est sans résistance ? Dans ce cas, l'intensité du courant induit n'est fonction que du déplacement.

Il en est donc de même des forces en question : elles ne dépendent que du déplacement du circuit. Si celui-ci part d'une position initiale où le courant est nul, comme dans une expérience de K. Onnes, rappelée plus haut, les forces électromagnétiques engendrées partent de zéro et prennent des valeurs déterminées qui ne dépendent à chaque instant que de la position du circuit ; le sens du courant est d'ailleurs tel, d'après la loi de Lenz, que les forces produites tendent à empêcher le déplacement. Ces forces ont donc le caractère de *forces élastiques* : elles tendent à ramener le circuit à sa position initiale, qui est une position d'équilibre. Dans le cas où la résistance n'est pas nulle, on sait qu'il en est autrement : le courant n'a alors qu'une existence éphémère et une intensité proportionnelle à la vitesse de déplacement, laquelle varie arbitrairement. Au contraire, quand la résistance électrique est nulle, la loi du courant et de la force électromagnétique est simple et générale : la variation arbitraire des vitesses n'a pas d'influence : force et intensité ne sont fonction que des positions extrêmes du circuit.

Il en est de même si, au lieu d'un circuit linéaire, on déplace dans le champ un conducteur à trois dimensions. Quand la conductibilité n'est pas nulle, la résistance du champ est une force proportionnelle à la vitesse : c'est le phénomène bien connu de la viscosité du champ magnétique. Si la conductibilité devient parfaite, il n'y a plus de viscosité apparente, il y a élasticité apparente du champ magnétique : c'est-à-dire qu'une lame hyperconductrice que l'on y introduit est repoussée comme pour un milieu élastique. Si la lame était, au contraire, dans le champ au moment où elle est devenue hyperconductrice, elle tend à revenir à sa position primitive dès qu'on l'en a écartée, et avec une force fonction du déplacement.

6. On a vu qu'un conducteur sans résistance est imperméable aux lignes de force magnétiques. Dans le cas des ondes hertziennes, on sait depuis longtemps que tout écran métallique est efficace, lors même que sa résistance n'est pas nulle. Le terme en r subsiste donc ; par contre, les termes $\frac{dn}{dt}$ et $\frac{dn'}{dt}$ sont extrêmement grands parce que les ondes hertziennes sont produites par des oscillations extrêmement rapides. Il s'ensuit que le terme en r, quoique fini, devient négligeable devant les deux autres termes, quand ceux-ci tendent vers l'infini. Le résultat est donc sensiblement le même que si le terme en r devenait égal à zéro.

7. Considérons le cas particulier où un circuit hyperconducteur se déforme, une partie de sa surface, située dans un champ magnétique H, subit une variation, une diminution par exemple égale à Δs. Le nombre de lignes de force restant invariable, leur densité augmente dans un point quelconque du reste du circuit, dans le rapport $\Delta s_1 : s_1$. Cette variation est indépendante de la vitesse du mouvement ; elle demeure la même si le mouvement est infiniment lent ; il en est de même du courant induit engendré et de la quantité de travail absorbé par la déformation. Ces conclusions s'appliquent, en particulier, au cas d'un circuit sans résistance qui contiendrait à la fois une magnéto génératrice et une

Digitized by Google

magnéto motrice. Les conditions pour que le courant, dans le circuit, reste invariable sont les suivantes : les angles dont les deux induits tournent simultanément doivent être tels que les produits $\Delta s_1 H_1$ et $\Delta s_2 H_2$ soient égaux et de signe contraire pour les deux machines. Le rendement est égal à un, quelles que soient les vitesses de rotation. La puissance est proportionnelle aux vitesses de rotation, ainsi qu'au courant constant (1) établi dans le circuit.

La transmission de force électrique, dans ces conditions où le circuit est imperméable aux lignes de force, parce que hyperconducteur, peut être comparée à une transmission de forces par air comprimé dans un système étanche pour l'air. A un bout du circuit, une pompe rotative refoule de l'air en quantité proportionnelle à la diminution de volume ; à l'autre bout, il y a un moteur rotatif avec détente et restitution de travail ; et le travail dans chaque bout est mesuré par la variation de volume multipliée par la pression, les vitesses n'intervenant pas. L'effet produit est calculable par les lois de balistique du gaz, parce que le système est étanche.

Le phénomène électrique quand la résistance est différente de zéro est, par contre, analogue au cas où la compression du gaz se ferait dans des récipients à parois non étanches : la pression ne se maintiendrait plus, à moins de continuer la compression avec une vitesse suffisante. La même comparaison mécanique tient dans d'autres cas que l'on aperçoit facilement. Il eût été difficile d'établir la loi de compressibilité du gaz dans des récipients poreux, car la porosité dont il faut tenir compte introduit une complication propre à masquer le résultat cherché.

En résumé, l'avantage qu'il y a à considérer le cas de la résistance nulle est le suivant : on fait disparaître une complication arbitraire, étrangère aux lois générales que l'on a à appliquer ; on n'a plus à tenir compte de la variation arbitraire des vitesses, et l'on aboutit à une relation qui montre que les lois générales des phénomènes d'induction sont des lois statiques.

G. Lippmann,
Membre de l'Institut.

Sur l'influence de l'enveloppe sur les résistance et réactance effectives d'un câble armé pour les harmoniques 3

Dans cette note, présentée à la séance du 6 janvier de l'Académie des Sciences, l'auteur donne quelques résultats d'essais effectués sur un câble armé.

Un tronçon d'environ 16 m de câble 3 × 100 mm² de même spécification que les câbles en service étudiés précédemment (2), a été coupé en deux fragments ayant chacun 8 m de long environ, pliés en U dont les branches parallèles étaient espacées d'environ 80 cm.

L'un des tronçons est d'abord dépouillé de son feuillard, l'autre conservé intact.

On mesure, pour chacun d'eux, le courant, la tension, la puissance absorbés et l'on déduit de ces données les résistance et réactance kilométriques comme dans les essais précédents.

Ces premiers essais donnent par comparaison l'influence du feuillard.

On débarrasse ensuite, de son enveloppe en plomb, le tronçon déjà dépourvu de son feuillard.

De nouvelles mesures donnent l'influence de l'enveloppe.

Principaux résultats. — *Câble nu, sans enveloppe, ni feuillard.* — A la fréquence 50 p : sec, la résistance est égale à 1,1 fois la résistance en courant continu ; à la fréquence 500, elle égale neuf fois cette dernière.

La réactance est proportionnelle à la fréquence.

Influence de l'enveloppe. — Le câble recouvert ou non de son enveloppe *garde sensiblement la même résistance* aux fréquences expérimentées (50 à 500 p : sec).

La réactance est nettement diminuée par l'enveloppe. Pour $F = 500$ p : sec, la réactance du tronçon muni de son enveloppe est les trois quarts de celle du câble nu.

Influence de l'armature. — A la fréquence 50 p : sec, la résistance et la réactance commencent par croître avec le courant jusqu'à $I = 70$ A qui correspond à un champ inducteur $H = 4$ gauss dans le feuillard. Elles restent ensuite constantes jusqu'à $I = 120$ A correspondant à un champ $H = 7$ gauss. Elles diminuent ensuite lentement et régulièrement quand le courant continue de croître.

La résistance et la réactance kilométriques sont deux à trois fois plus grandes pour les tronçons courts que pour les longs câbles en service.

A la fréquence 500 p : sec, ces grandeurs atteignent jusqu'à quatre fois les valeurs correspondantes des longs câbles, de sorte qu'il *est impossible de déterminer à l'usine, sur des tronçons de quelques mètres, les résistances et réactances des câbles en service, pour l'harmonique* 3.

Cette énorme différence entre les valeurs des constantes, pour les câbles longs et courts, semble due à l'enveloppe.

Entre les résistance et réactance kilométriques de

(1) A condition que ni l'intensité du courant ni le champ magnétique ne dépassent les limites finies indiquées par Kamerlingh Onnes.

(2) *R. G. E.*, 4 janvier 1919, t. v, p. 16-17.

Digitized by Google

deux longs câbles de même spécification posés dans la même tranchée ou séparés de 1 km dans leur parcours, on observe une différence de l'ordre de 20 fois plus faible que la valeur calculée pour les mêmes câbles dépouillés de leurs enveloppe et feuillard : résultat qui s'explique aisément par le flux antagoniste créé par le courant induit dans l'enveloppe.

Cette explication est corroborée par ce fait que l'énergie dégagée dans les feuillards est considérablement moins élevée que celle qui correspondrait au champ qu'y créerait le courant circulant dans les âmes s'il agissait seul.

Le courant induit dans l'enveloppe d'un câble posé en terrain parfaitement isolant serait uniquement un courant de capacité et, comme cette capacité dépend de la longueur du câble, on conçoit déjà que le courant induit dans l'enveloppe peut être d'autant plus intense que le câble est plus long; la relation que l'on peut établir dans cette hypothèse rend compte de l'influence de la longueur sur les constantes spécifiques.

En réalité, comme le terrain où le câble est posé n'est pas un isolant parfait, des courants de conduction s'ajoutent aux précédents et les constantes en sont notablement modifiées.

Les résistance et réactance effectives linéiques pour les harmoniques 3 doivent être déterminées sur les câbles en service; elles ne sont pas des constantes déterminées uniquement par la spécification du câble comme pour les autres harmoniques.

R. SWYNGEDAUW,
Directeur de l'Institut électrotechnique de Lille.

Revues, analyses et informations

Comité électrotechnique français.

SÉANCE DU 12 DÉCEMBRE 1918.

La séance est ouverte à 15 h. 15, sous la présidence de M. Eschwège, vice-président du Comité.

Etaient présents : MM. Armagnat, Blondin, Boucherot, David, Duval, Eschwège, Grosselin, Guéry, Paul Janet, Jeusset, Larnaude, Marcel Meyer, Péridier, Ragonot, Rey, Roche-Grandjean, Sailly, Schwarberg, général Sébert et Zetter.

Excusés : MM. Brylinski, Ellissen, colonel Ferrié, Fontaine, Hillairet, Labour.

I. PROCÈS-VERBAL. — Le procès-verbal de la dernière séance est adopté sans observation.

II. NOMINATION DE M. MAURICE LEBLANC A L'ACADÉMIE DES SCIENCES. — M. le Président informe le Comité de la nomination à l'Académie des Sciences de M. Maurice Leblanc, président de la Commission électrotechnique internationale.

Le Comité décide qu'une adresse de félicitations sera envoyée à M. Leblanc.

DÉCÈS. — M. le Président annonce au Comité le décès de deux membres : MM. Guittard et Sée. Il déplore la disparition de ces collègues dont le concours était précieux pour le Comité. Des condoléances sont envoyées aux familles.

IV. — NOMINATION DU BUREAU DU COMITÉ. — Le Comité décide, à l'unanimité, de maintenir en fonction les membres du bureau actuel, à savoir :

Président, M. E. Brylinski ;
Vice-présidents, M. P. Eschwège et M. R. Legouëz ;
Secrétaire, M. Ch. David ;
Trésorier, M. F. Brocq ;
Secrétaire-adjoint, M. F. Laporte.

V. NOMINATION DE DÉLÉGUÉS A LA COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE ET A SON CONSEIL. — Le Comité désigne, comme délégués au Conseil de la Commission : M. E. Brylinski, président du Comité, vice-président de droit du Conseil, et M. P. Boucherot ; comme délégué suppléant au Conseil de la Commission : M. Paul Janet ; comme délégués à la Commission : MM. P. Boucherot, Ch. David et Paul Janet.

VI. RÉUNIONS INTERNATIONALES FUTURES. — M. le Secrétaire donne lecture de la note des secrétaires perpétuels de l'Académie des Sciences sur la conférence interalliée des académies scientifiques à Londres, au sujet des relations scientifiques internationales dans l'avenir.

M. le général Sébert, membre de l'Académie des Sciences, donne quelques explications complémentaires au sujet de cette note.

Le Comité décide de suivre la même ligne de conduite que les autres associations scientifiques françaises.

VII. CORRESPONDANCE. — 1. *Ministère du Commerce.* — Lettre en date du 25 octobre, informant le Comité qu'il a été désigné par la Commission permanente de standardisation comme faisant partie de la Sous-Commission de standardisation des unités de mesures et tolérances, et demandant de désigner un membre du Comité pour les représenter au sein de cette Sous-Commission.

Le Ministère demandant une réponse dans les cinq jours, M. le Président, après avoir consulté quelques membres du Comité, a désigné M Armagnat.

Le Comité ratifie cette désignation.

2. *Bureau central.* — *a*) Lettre demandant s'il existe une organisation officielle française s'occupant de la rédaction et de la mise en vigueur des règles relatives au placement des conducteurs électriques. Lecture est donnée de la réponse adressée par M. le Président.

b) Rapport du Secrétaire honoraire de la Commission internationale pour les travaux pendant l'année 1917.

Au sujet de ce rapport, M. le Président fait remarquer que les Comités britannique et américain, en appelant même, dans un cas, le Comité italien, ont traité un certain nombre de questions importantes, sans que le Comité français ait été saisi en aucune façon ; de telle sorte que le Comité français a été mis en présence des décisions prises,

Digitized by Google

ce qui est tout à fait contraire à l'esprit de la Commission internationale.

Le Comité charge M. le Président de signaler le fait au Bureau central.

3. *Supports et culots de lampes à incandescence.* — Lettre de M. Zetter en date du 19 novembre, demandant que le Bureau central soit saisi officiellement de sa demande d'examen par la Commission internationale de son projet d'unification.

Le Comité décide de demander au Bureau central la mise à l'étude de la question au programme des travaux de la première réunion de la Commission.

VIII. Règles pour les machines. — M. Boucherot, président de la Commission des machines, rappelle l'importance de la question pour les constructeurs et les acheteurs, et insiste pour qu'une décision soit prise à ce sujet. Lecture est donnée d'observations envoyées par M. Brylinski.

Après discussion, à laquelle prennent part MM. Boucherot, Guéry, Brylinski (qui était arrivé en séance), et plusieurs autres membres, le Comité décide que certaines corrections seront apportées au texte de l'épreuve du fascicule 10 ; le fascicule sera envoyé aux sociétés adhérentes ainsi qu'au Syndicat des constructeurs du gros matériel électrique en leur demandant de faire parvenir les observations dans le délai de un mois. Si des observations ne sont pas parvenues dans ce délai, le texte corrigé sera considéré comme adopté.

La séance est levée à 16 h. 15.

Sur l'atome de Bohr et le magnétisme (1).

1. — Il y a deux grands problèmes non résolus dans la physique actuelle, le problème de la nature de la lumière et le problème du magnétisme. La lumière et le magnétisme semblent être reliés très directement aux charges électriques en mouvement et la théorie définitive de l'origine de la lumière suppose la solution du problème du magnétisme. Plusieurs essais ont été tentés en vue d'expliquer le rayonnement du corps noir et l'émission des spectres de raies. Le fait le plus surprenant, mis en évidence par ces recherches, est l'existence de la constante des quanta h, qui semble être une constante fondamentale de la nature. Parmi les divers essais effectués en vue d'expliquer les séries spectrales, la théorie de l atome proposée par Bohr mérite une attention spéciale en ce qu'elle fait entrer le terme h et qu'elle rend compte, avec une précision surprenante, de la constante de Rydberg dans les séries de Balmer et autres. D'après Bohr, l'atome consiste en un noyau entouré d'électrons qui décrivent des orbites stationnaires n'émettant aucun rayonnement et pour lesquels les lois de l'électrostatique qui demeurent valables permettent d'écrire

$$\frac{e\,e_1}{a^2} = \frac{m\,v^2}{a}.$$

Les cercles stationnaires sont déterminés par le postulat que l'énergie cinétique $\frac{1}{2}\,mv^2$ est proportionnelle au quantum d'énergie, en sorte que

$$E_k = \frac{1}{2}\,mv^2 = \frac{1}{2}\,zhn \quad (z = \text{entier}),$$

$$mv\,2\pi na = zhn,$$

$$mva = m\,2\pi na^2 = \frac{zh}{2\pi},$$

donc, la constante h est proportionnelle au moment de la quantité de mouvement de l'électron en rotation; elle est aussi proportionnelle au moment magnétique M de l'électron dans l'orbite stationnaire, en sorte que

$$M = \pi a^2 i = \pi a^2 en = zh\,\frac{e}{4\pi m}.$$

L'orbite non rayonnante de l'électron semble rendre compte aussitôt des propriétés magnétiques des éléments et de leurs composés. Quand un électron se déplace d'une certaine orbite stationnaire vers une autre plus interne, il perd un quantum d'énergie en donnant naissance à une raie du spectre

$$(1) \qquad nh = E_{z2} - E_{z1} = \frac{2\pi^2 m e^2 e_1^2}{h^2}\left(\frac{1}{z_2^2} - \frac{1}{z_1^2}\right),$$

Deux des problèmes fondamentaux semblent résolus simultanément : l'électron, en passant d'une orbite stationnaire à une autre plus interne, donne naissance à la lumière ; quand il se meut sans perturbation sur une orbite stationnaire, il engendre des effets magnétiques. Naturellement, même si ces deux parties de la théorie étaient vérifiées, la question demeurerait d'expliquer l'existence d'orbites qui n'émettent pas de rayonnement et de savoir pourquoi la théorie électromagnétique de Maxwell ne s'applique pas à l'intérieur de l'atome. Si cette théorie est en défaut à l intérieur de l'atome, on peut alors prévoir également que la théorie de la relativité ne sera pas valable dans les mêmes régions.

2. — Avant de procéder à la discussion du magnétisme sur la base de la théorie de Bohr, l'auteur attire l'attention sur une conclusion intéressante relative aux vitesses des électrons situés près du noyau qui donnent naissance aux spectres des rayons de Roentgen, dont la loi approchée a été découverte par Moseley. *La racine carrée des fréquences les plus élevées provenant des atomes des éléments chimiques est proportionnelle à la charge e_1 du noyau.* Cette loi se déduit de la théorie de Bohr. Si nous désignons par e_{11} et e_{12} les charges des noyaux de deux atomes et que nous supposions le facteur $\frac{1}{z_2^2} - \frac{1}{z_1^2}$ le même dans deux éléments, on tire de l'équation (1) la relation suivante relative aux fréquences les plus élevées des deux éléments

$$\sqrt{\frac{n_1}{n_2}} = \frac{e_{11}}{e_{12}} = \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2},$$

où N_1 et N_2 sont les nombres atomiques correspondants.

Millikan a vérifié cette relation pour le tungstène et l'hydrogène et a conclu que la plus courte longueur d'onde qui pouvait être produite par l'hydrogène est 91,4 $m\mu$, tandis que Lyman a trouvé comme longueur d'onde de convergence 91,2 $m\mu$. Ceci correspondrait à la fréquence la plus élevée de l'atome d'hydrogène. Il semble certain que la série ultraviolette Lyman des raies de l'hydrogène est la série K de cet élément.

Bien que cet accord soit très satisfaisant, il importe de remarquer que nous n'avons jusqu'ici aucune preuve de l'existence des séries de Balmer dans les spectres Roentgen et le pouvoir de résolution des cristaux pour les rayons X caractéristiques est trop faible, pour qu'il soit possible, avec les moyens expérimentaux dont nous disposons actuellement, de découvrir des séries analogues aux séries de Balmer dans les spectres Roentgen. Or, la relation

$$\sqrt{\frac{n_1}{n_2}} = \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2},$$

peut être exacte, même si la théorie de l'atome donnée par Bohr ne l'est pas, pourvu qu'on introduise la théorie des

(1) Jakob Kunz. *Physical Review*, juillet 1918, 2e série, t. XII, p. 56-69, 5000 mots.

Digitized by Google

quanta de la manière suivante indiquée par F. Sanford (1).

$$(a) \qquad \frac{1}{2} m v^2 = h n, \qquad v = 2\pi n a = \sqrt{\frac{2h}{m}}\sqrt{n},$$

$$m v a = \frac{h}{\pi},$$

$$(b) \qquad \frac{m v^2}{a} = \frac{e e_1}{a^2}, \qquad e_1 = \frac{m v^2 a}{e} = \frac{v h}{\pi e},$$

$$e_1 = \sqrt{\frac{2}{m}} \frac{h^2}{\pi e}\sqrt{n_1},$$

$$(2) \qquad \frac{e_1}{e_2} = \frac{n_1}{n_2}.$$

Que nous déduisions cette relation d'après la méthode de Sanford ou celle de Bohr, nous admettons dans les deux théories que la masse m de l'électron est la même dans chaque cas et la même pour tous les éléments.

3. — Dans la théorie de la relativité, le rapport de la masse transversale m de l'électron en mouvement à la masse m_0 de l'électron au repos est donné par

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

En admettant pour $\frac{m}{m_0}$ la valeur 1,01, on trouve $v = 4,2.10^9$ cm : sec. La plus courte longueur d'onde λ mesurée pour le tungstène étant égale à $0,167.10^{-8}$ cm, on a

$$n = \frac{c}{\lambda} = 1,8.10^{19},$$

$$(3) \qquad \frac{n_1^2}{n_2^2} = \left(\frac{e_1}{e_2}\right)^4,$$

mais,

$$\frac{e e_1}{a^2} = \frac{m v^2}{a} = m 4\pi^2 n^2 a,$$

$$n^2 = \frac{e e_1}{m 4\pi^2 a^3},$$

$$(4) \qquad \frac{n_1^2}{n_2^2} = \frac{e_{11}}{e_{12}}\left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3 = \frac{e_1}{e_2}\left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3 = \left(\frac{e_1}{e_2}\right)^4.$$

De (4), on tire

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{a_2}{a_1},$$

pour deux éléments différents. Ou encore,

$$a_2 = a_1 \frac{e_1}{e_2} = a_1 \frac{N_1}{N_2}.$$

Pour l'atome d'hydrogène

$$a_1 = 5,5.10^{-9} \text{ cm},$$

pour le tungstène,

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{74},$$

d'où

$$a_2 = 7,43.10^{-11} \text{ cm}.$$

(1) *Physical Review*, 1917, t. IX, p. 383.

C'est le rayon de l'orbite la plus interne dans l'atome de tungstène ; la vitesse linéaire est

$$v_2 = 2\pi n a_2 = 8,38.10^9 \text{ cm}.$$

Pour l'atome d'uranium, on trouve une vitesse de $2,1.10^{10}$ cm s'approchant de celle de la lumière. Cette vitesse correspondrait à une masse $m = 1,4\, m_0$, à condition de négliger l'influence des autres électrons en révolution. Il est remarquable que ces vitesses les plus élevées des électrons en mouvement de révolution soient inférieures de 30 pour 100 seulement à la vitesse de la lumière ; d'autre part, toute théorie satisfaisante des spectres de Roentgen doit tenir compte de cet effet ou nier la relativité à l'intérieur de l'atome.

4. — La vitesse des électrons sur les orbites de l'atome de Bohr est si grande qu'il semble possible d'expliquer les propriétés magnétiques des éléments par l'hypothèse d'un petit nombre d'électrons se déplaçant sur des orbites non rayonnantes. L'auteur compare les propriétés magnétiques de quelques éléments parmi les plus simples avec la théorie de Bohr des atomes et des molécules. La première difficulté qui se présente provient de ce qu'on a mesuré les propriétés magnétiques des molécules et non celles des atomes (sauf pour les gaz rares) et que la théorie de Bohr relative aux molécules n'est pas aussi bien précisée que celle relative aux atomes.

L'atome d'hydrogène est constitué par un noyau de charge e_1 et un électron de charge e animé d'un mouvement circulaire autour du noyau. Cet atome représente un aimant élémentaire et si le gaz hydrogène était constitué par des atomes, il serait paramagnétique et sa susceptibilité paramagnétique pourrait être évaluée aussitôt. Mais reste à savoir comment s'effectue le couplage de deux atomes dans une molécule. Les aimants élémentaires de deux atomes peuvent se disposer de manière que les axes des deux magnétons soient sur la même ligne, l'hydrogène serait alors paramagnétique ; ou bien, les axes peuvent être parallèles entre eux, les pôles voisins étant de signes contraires, auquel cas l'hydrogène serait diamagnétique ; ou encore, comme l'a supposé Bohr, on peut admettre que dans la molécule d'hydrogène les deux électrons se déplacent sur la même orbite, à une distance angulaire l'un de l'autre de 180°, le plan de l'orbite étant à angle droit de la ligne qui joint les deux noyaux. Bohr calcule que le rayon de l'orbite commune des électrons est $a = 5,22.10^{-9}$ cm pour la fréquence $n = 6,72.10^{15}$. Ce gaz est paramagnétique. Le moment magnétique M est égal à

$$M = 2.\pi a^2 e n = 1,82.10^{-20}.$$

La susceptibilité magnétique à 0° est

$$k = \frac{N M^2}{3RT} = \frac{2,72 \times 10^{19} \times (1,82)^2 \times 10^{-40}}{3,1 \times 37 \times 10^{16} \times 273},$$

$$k = +\, 8,2.10^{-8} \text{ par cm}^3 \text{ à } 0°\text{C}.$$

Les valeurs qu'ont obtenues divers expérimentateurs sont contradictoires : $+\, 0,8.10^{-8}$ (Quincke) ; $-\, 0,5.10^{-8}$ (Bernstein) ; $-\, 0,34.10^{-8}$ (Blondlot). Il semble indispensable de procéder à une nouvelle étude des propriétés magnétiques de l'hydrogène.

L'atome d'hélium dans la théorie de Bohr est constitué par un noyau de charge $2e$ autour duquel gravitent deux électrons situés sur une même orbite de rayon $a = 0,314.10^{-8}$ cm, avec une fréquence $n = 19.10^{15}$. Ce gaz serait paramagnétique. Le moment magnétique de l'atome est égal à $1,85.10^{-20}$, la susceptibilité est $k = 8,5.10^{-8}$ à 0° ; ici, la théorie de Bohr est en contradiction avec l'expérience.

Le lithium est supposé contenir un noyau de charge $3e$; deux électrons se meuvent sur l'orbite interne et un électron sur l'orbite externe, dans le même sens, donnant naissance

Digitized by Google

au paramagnétisme. On peut calculer aisément le moment magnétique

$$M = 2\pi a_1^2 e n_1 + \pi a_2^2 e n_2 = 2{,}815.10^{-20},$$
$$a_1 = 1{,}99.10^{-9}, \qquad a_2 = 0{,}651.10^{-8},$$
$$n_1 = 4{,}74.10^{16}, \qquad n_2 = 4{,}43.10^{15}.$$

La susceptibilité paramagnétique du lithium serait ainsi

$$k = \frac{NM^2}{3RT} = \frac{2{,}72 \times 10^{19} \times (2{,}815)^2 \times 10^{-40}}{3 \times 1{,}37 \times 10^{-16} \times 273} = + 1{,}98.10^{-7},$$

par unité de volume à 0°. Le lithium, comme les autres métaux alcalins, est faiblement paramagnétique. On a obtenu, expérimentalement, la valeur $2{,}26.10^{-7}$ qui concorde même mieux avec la théorie qu'on aurait pu l'espérer, puisqu'on a traité le lithium comme un gaz, alors que, pour l'état solide, il faudrait tenir compte de l'action réciproque des aimants élémentaires.

Enfin le glucinium, dans la théorie de Bohr, serait constitué par une charge nucléaire $4e$ entourée de deux orbites décrites chacune par deux électrons. Si les rayons et les fréquences des électrons dans l'état neutre de l'atome étaient déterminés d'une manière unique, on pourrait calculer aisément le moment magnétique et la susceptibilité. Le modèle d'atome est paramagnétique, en accord avec les déterminations expérimentales.

Les quatre substances, H, He, Li, Gl, sont paramagnétiques d'après la théorie de Bohr, alors que l'hydrogène est probablement diamagnétique et que l'hélium l'est presque certainement. L'effet d'un champ magnétique sur un gaz paramagnétique consiste dans l'orientation des aimants moléculaires suivant la direction du champ extérieur; de telle sorte qu'il y aura un état d'équilibre entre la tendance directrice du champ et la tendance perturbatrice de l'agitation thermique. Il paraît justifié d'appliquer la théorie du paramagnétisme au modèle d'atome de Bohr en ce qui concerne cet effet du champ. Mais le champ doit aussi avoir un effet secondaire sur le paramagnétisme, effet qui détermine, en même temps, les propriétés diamagnétiques.

5. Considérons, dans un gaz diamagnétique, un atome pourvu d'une orbite électronique de rayon a, l'électron e tournant avec une vitesse v dans un plan perpendiculaire au champ magnétique. Le moment magnétique, abstraction faite de l'action du champ extérieur, serait $M = \pi a^2 e n$. S'il existe un champ H, la fréquence variera de manière qu'on ait

$$dM = \pi e\,(2a\,da + a^2 dn),$$

ou, en supposant le premier terme négligeable,

$$dM = \pi e a^2 dn = -\pi e a^2 \frac{dT}{T^2}.$$

Mais, dans la théorie du diamagnétisme aussi bien que dans la théorie de Lorentz de l'effet Zeeman simple, on suppose que l'on a

$$\frac{mv^2}{a} = f.a,$$

c'est-à-dire, que la force centripète, qui équilibre la force centrifuge, est proportionnelle à la distance a entre l'électron et le centre de l'atome, la force centripète étant une force quasi élastique; dans la théorie de Bohr, au contraire, la force centripète est inversement proportionnelle au carré de la distance entre l'électron et le noyau. Cependant, même dans ces conditions, on peut retrouver, au moyen de certaines approximations, les anciennes expressions de la susceptibilité diamagnétique et de l'effet Zeeman, au facteur 2 près, comme on le voit par les déductions suivantes.

Posons

$$\frac{mv^2}{a} = \frac{f}{a^2}.$$

Avec un champ magnétique on a

$$\frac{mv^2}{a'^2} = \frac{f}{a'^2} - Hev = \frac{mv^2 a}{a'^3} - Hev,$$
$$\frac{mv^2}{a'^2} - \frac{mv^2 a}{a'^3} = -\frac{Hev}{a'},$$
$$v = \frac{2\pi a}{T} = \frac{2\pi a'}{T'},$$
$$\frac{v}{2\pi} = \frac{a}{T} = = \text{const.}$$
$$T' = \frac{a'}{a} T,$$
$$2\pi m \left(\frac{1}{T'^2} - \frac{1}{T'^2}\frac{a}{a'}\right) = -\frac{He}{T'},$$
$$2\pi m \left(\frac{1}{T'^2} - \frac{a^3}{a'^3}\frac{1}{T'^2}\right) = = \frac{He}{T'},$$
$$\frac{2\pi m}{a'^3}\left(\frac{T^2 a'^3 - T'^2 a^3}{T^4}\right) = -\frac{He}{T'},$$

mais

$$a' = a + da, \qquad a'^3 = a^3 + 3a^2 da;$$
$$T' = T + dT, \qquad T'^2 = T^2 + 2T dT;$$

d'où

$$\frac{2\pi m}{a'^3}\,\frac{T^2 3a^2 da - a^3 2T dT}{T^4} = -\frac{He}{T'},$$
$$da = \frac{v}{2\pi}\,dT = \frac{2\pi a}{2\pi T}\,dT = \frac{a}{T}\,dT,$$
$$\frac{2\pi m}{a'^3}\,\frac{3a^3 T dT - 2a^3 T dT}{T^4} = -\frac{He}{T'},$$
$$2\pi m\,\frac{a^3}{a'^3}\,\frac{dT}{T^2} = -He,$$
$$\frac{dT}{T^2} = -dn = -\frac{He}{2\pi m} = n_1 - n,$$
$$-\frac{He}{2\pi m} = n - n_2,$$
$$n_2 - n_1 = +\frac{He}{\pi m}.$$

Cette dernière formule est celle relative à l'effet Zeeman, au facteur $\frac{1}{2}$ près. On peut faire une objection à cette explication de l'effet Zeeman; en particulier, dans la théorie de Bohr, on suppose qu'une raie du spectre est émise quand un électron passe, on ne sait suivant quel trajet, d'une orbite extérieure à une orbite interne qui n'émet aucun rayonnement. Le champ magnétique agit naturellement sur l'électron pendant l'émission de lumière; c'est-à-dire, pendant que l'électron passe d'une orbite à l'autre. Mais dans la théorie actuelle, tout comme dans l'ancienne théorie de Lorentz, on admet que le champ magnétique n'affecte que les orbites stationnaires.

Cette hypothèse reste cependant valable pour la détermination de la susceptibilité diamagnétique qu'on va maintenant envisager

$$dM = -\pi e a^2 \frac{dT}{T^2} = \frac{e^2 a^2 H}{2m}.$$

S'il y a N orbites par unité de volume et si les axes sont

Digitized by Google

distribués uniformément suivant toutes les directions, on a

$$M = \frac{e^2 a^2 NH}{6m}.$$

La susceptibilité diamagnétique k est égale à

$$k = \frac{e^2 a^2 N}{6m},$$

soit deux fois celle calculée d'après l'hypothèse de Lorentz que les forces centripètes sont proportionnelles à la distance entre l'électron et le centre de l'atome. Pour la susceptibilité diamagnétique aussi bien que pour l'effet Zeeman on a supposé dans l'atome de Bohr que, sous l'influence du champ magnétique, les orbites qui n'émettent pas de rayonnement sont légèrement modifiées.

Pour un gaz paramagnétique, la susceptibilité résultante serait la différence

$$k = \frac{N_m M^2}{3RT} - \frac{e^2 a^2 N_a}{6m}.$$

N_m désignant le nombre de molécules et N_a le nombre d'orbites électroniques par cm³.

Pour l'hydrogène on aurait

$$k = \frac{4\pi^2 a^4 e^2 n^2 N}{3RT} - \frac{e^2 a^2 . 2N}{6m},$$

$$= e^2 a^2 N \left[\frac{4\pi^2 a^2 n^2}{3RT} - \frac{6m}{2} \right].$$

En prenant encore, à 0° C,

$$a = 5,22 \times 10^{-9},$$
$$n = 6,72 \times 10^{15},$$
$$m = 9,01 \times 10^{-28},$$
$$R = 1,37 \times 10^{-16},$$
$$T = 273,$$

on trouve

$$\frac{4\pi^2 a^2 n^2}{3RT} = 4,31 \times 10^{20},$$

$$\frac{1}{3m} = 3,7 \times 10^{26},$$

ce qui montre que l'effet paramagnétique relatif à l'hydrogène à 0° est plus de 1000 fois supérieur à l'effet diamagnétique.

Pour l'hélium on obtient la susceptibilité paramagnétique corrigée

$$k = \frac{N_a M^2}{3RT} - \frac{e^2 a^2 . 2 N_a}{6m}.$$

$$M = 2\pi a^2 e n,$$

$$k = a^2 e^2 N_a \left[\frac{4\pi^2 a^2 n^2}{3RT} - \frac{1}{3m} \right].$$

Avec les valeurs indiquées antérieurement pour le rayon a et la fréquence n des électrons on obtient

$$\frac{4\pi^2 a^2 n^2}{3RT} = 1,26 . 10^{30}.$$

L'effet diamagnétique relatif de l'hélium est un peu inférieur à l'effet correspondant pour l'hydrogène.

En général, la susceptibilité observée k est la différence entre la susceptibilité paramagnétique k_p et la susceptibilité diamagnétique k_d

$$k = k_p - k_d.$$

On conçoit donc très bien que le magnétisme d'un élément puisse changer de signe, comme le fait celui de l'étain. k_p étant une fonction de la température. Pour les gaz diamagnétiques, la susceptibilité est sans doute presque indépendante de la température. Si la théorie de Bohr relative à l'hélium est conforme à la réalité physique, on doit introduire une légère modification pour expliquer les propriétés magnétiques de l'hélium. Si le principe de la conservation de la quantité de mouvement s'applique à l'intérieur de l'atome, si cette quantité de mouvement est proportionnelle au moment magnétique et si les électrons se meuvent sur des orbites elliptiques, le noyau devrait aussi tourner autour du centre d'attraction du système, dans le même sens que les électrons, les moments magnétiques des électrons et le noyau s'équilibreraient mutuellement et l'atome serait diamagnétique. Naturellement il n'est pas nécessaire que le moment résultant soit exactement nul, mais seulement que la valeur absolue de k_d soit supérieure à celle de k_p. Si, pour un intervalle de température étendu, k était indépendant de la température, k_p devrait être nul. L'effet Zeeman pour la vapeur de fer montre que les propriétés diamagnétiques persistent jusqu'à des températures très élevées, et la loi d'additivité du diamagnétisme pour les composés organiques de constitution analogue indique que le diamagnétisme est une propriété intime de la matière qui peut être partiellement attribuée au noyau. Par contre, les phénomènes paramagnétiques et les propriétés diamagnétiques des substances solides et liquides sont facilement influencées par les agents physiques et chimiques.

Résumé et conclusion. — *a*) L'auteur a montré qu'on peut établir la relation

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{e_1}{e_2},$$

au moyen de la relation des quanta et en dehors de la théorie de l'atome de Bohr.

b) Si l'on calcule les rayons des orbites et les vitesses v des électrons au voisinage du noyau de l'atome au moyen des relations

$$a_2 = a_1 \frac{e_1}{e_2} = a_1 \frac{N_1}{N_2},$$

$$v_2 = 2\pi n a_2,$$

on obtient pour la plus grande vitesse des électrons dans l'atome d'uranium $2,1 . 10^{10}$ cm, correspondant à une masse m de l'électron égale à $1,4 m_0$.

c) L'auteur a calculé les moments paramagnétiques et les susceptibilités paramagnétiques de l'hydrogène, de l'hélium, et du lithium, par la théorie de Bohr. Si l'hydrogène est réellement diamagnétique, ce qui reste à établir par l'expérience, les propriétés magnétiques de l'hydrogène et de l'hélium ne peuvent pas s'expliquer par le modèle d'atome de Bohr. Dans ce cas, il faut inventer un nouveau modèle, ou attribuer les propriétés magnétiques à différentes causes, par exemple, aux magnétons eux-mêmes, indépendamment des électrons en mouvement, ou aux électrons dont la charge elle-même est en mouvement, en sorte que l'électron est en même temps un magnéton, ou au noyau qui rendrait compte en partie des phénomènes magnétiques.

d) L'auteur indique une modification de l'effet Zeeman simple. L'équation résultante

$$n_2 - n_1 = \frac{He}{\pi m},$$

diffère de celle que fournit la théorie de Lorentz par la suppression du facteur $\frac{1}{2}$.

e) L'auteur a calculé la susceptibilité diamagnétique de l'hydrogène et de l'hélium. Elle est environ 1000 fois inférieure à la susceptibilité paramagnétique.

f) Il considère enfin une modification de l'atome de Bohr qui expliquerait les propriétés diamagnétiques de l'hélium.

A. B.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

Chariots transporteurs électriques pour manutention

Dans cet article, l'auteur décrit les divers types des chariots et tracteurs électriques employés dans les ateliers ; il donne ensuite la description sommaire du type d'accumulateur Edison souvent employé pour actionner ces appareils et termine par l'énumération de quelques-unes de leurs applications.

Parmi les nombreux appareils que les nécessités de la guerre ont amené à introduire en France, l'attention des industriels a été vivement attirée par les chariots électriques dont l'emploi a permis d'organiser rationnellement la manutention et d'économiser dans de grandes proportions la main-d'œuvre.

Ces appareils de construction américaine sont maintenant en service dans toutes les grandes usines françaises et dans les arsenaux et ateliers de l'Etat. On les voit aussi dans les ports utilisés par l'Armée américaine, servant au déchargement des navires et aidant à transporter les marchandises des quais dans les dépôts.

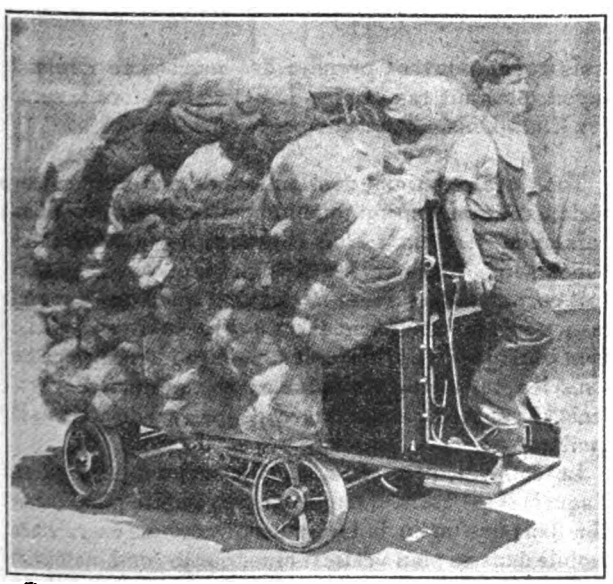


Fig. 1. — Petit camion électrique.

Ils peuvent être divisés en trois groupes :

1° Ceux qui servent uniquement à transporter une charge.

La figure 1, par exemple, représente un de ces appareils qui sont en fait de petits camions électriques. Mais ils sont construits surtout pour être employés à l'intérieur des usines, et le mécanisme de conduite et de marche, les dispositifs de sécurité, sont adaptés à ce but, c'est-à-dire que le conducteur est toujours debout, donc attentif, que le chariot peut tourner très court et se mouvoir même dans les couloirs étroits ou dans les ateliers encombrés.

2° Ceux qui peuvent se charger et se décharger par leurs propres moyens.

Ils comprennent les appareils tels que celui que représente la figure 2, comportant un tablier en tôle qui peut glisser sur ses galets, et qui est élevé ou abaissé automatiquement par un bras élévateur entraîné par une vis tangente, actionnée elle-même par un moteur électrique spécial. Le conducteur engage le tablier mobile sous

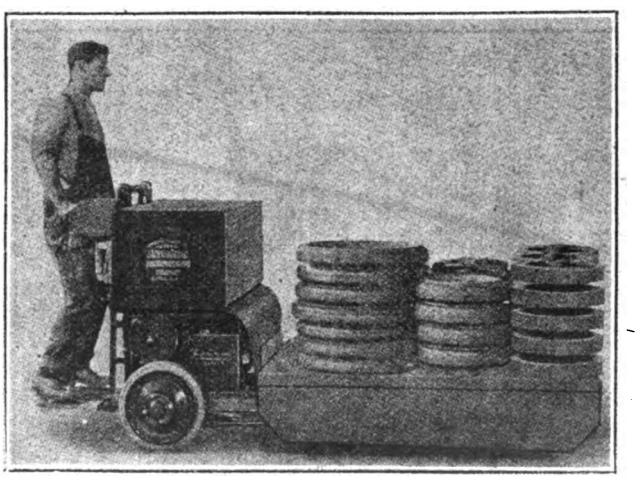


Fig. 2. — Chariot transporteur électrique avec tablier élévateur.

une plate-forme généralement en bois, chargée au préalable d'objets quelconques, et soulève un levier qui amène l'élévation automatique du tablier. Celui-ci après une course de 1 cm environ arrive au contact du dessous de la plate-forme et la soulève de 8 cm ; le conducteur

Digitized by Google

n'a alors qu'à amener le chariot et sa charge à l'endroit voulu où il pourra, par une manœuvre analogue, laisser la plate-forme à terre.

On peut ranger aussi dans cette catégorie l'appareil représenté par la figure 3, qui est un chariot équipé avec une grue électrique munie d'un petit moteur individuel.

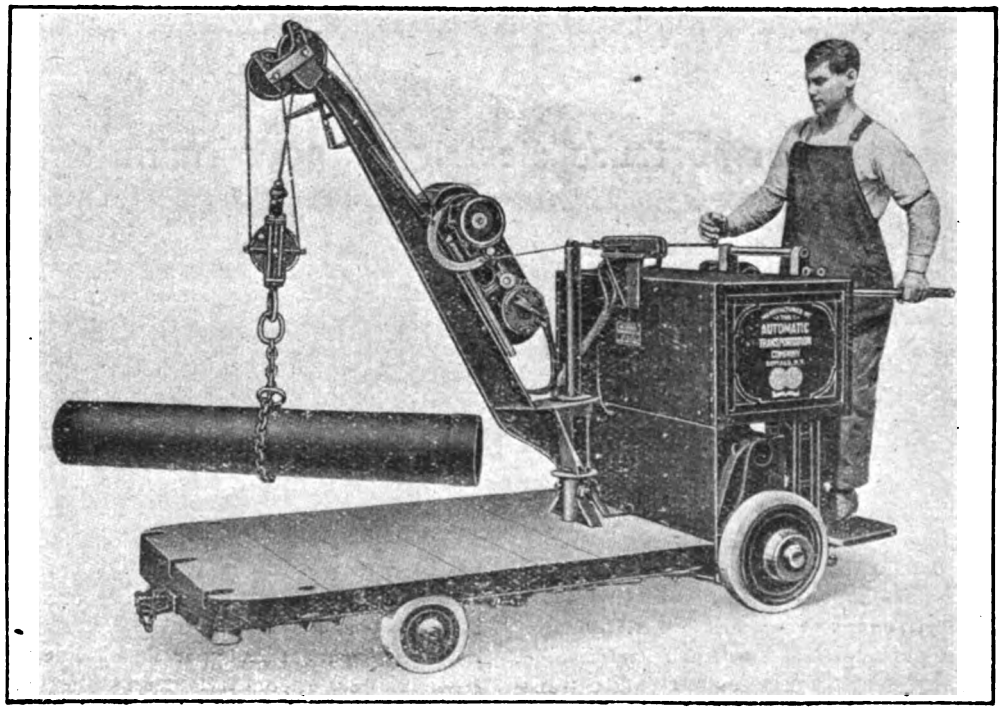


Fig. 3. — Chariot transporteur avec grue électrique.

les chariots équipés avec des bennes basculantes, etc.

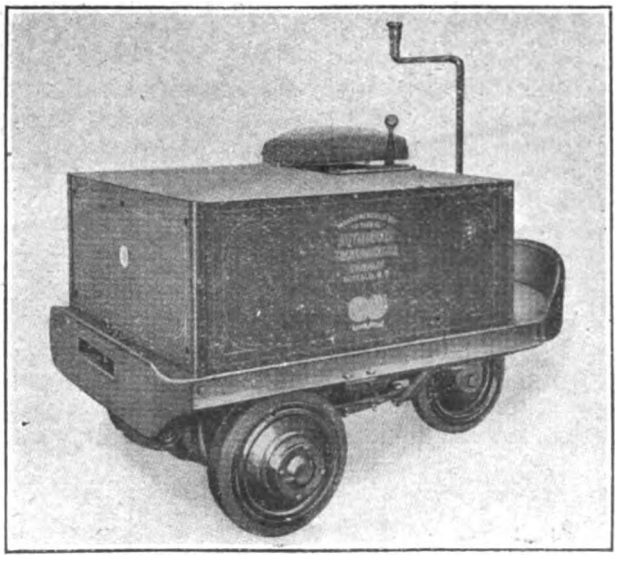


Fig. 4. — Tracteur électrique à trois roues.

3° Ceux qui remorquent d'autres chariots, c'est-à-dire les tracteurs. La figure 4 représente un tracteur à trois roues pouvant prendre des courbes de 1,10 m de rayon, pouvant remorquer de 8 à 12 t et dont le succès aux Etats-Unis est actuellement considérable.

Tous ces appareils sont actionnés par des moteurs série, à courant continu, fonctionnant sous 24/48 v et d'une puissance de deux à trois chevaux. Il y a deux enroulements inducteurs qui peuvent être montés soit en série, soit en parallèle suivant la position que l'on donne à la manette du combinateur, c'est-à-dire la vitesse que l'on veut obtenir. Une résistance peut être intercalée ou non dans les enroulements inducteurs et permettre d'avoir trois vitesses avant ou arrière, en général de 1,6 à 12 kilomètres par heure (fig. 5).

Le conducteur se tient, sauf pour les tracteurs, sur lesquels il est assis, debout sur une étroite plate-forme. Il a dans une main le levier de direction généralement mobile dans un plan vertical ainsi que le combinateur, et, dans l'autre main, la manette de ce combinateur. Il agit avec le pied sur un interrupteur à pédale qui rend très facile la conduite de l'appareil, permettant son arrêt ou sa mise en marche sans toucher au combinateur.

Lorsque la pédale est complètement relevée, le circuit électrique est coupé et le frein bloqué. En appuyant légèrement le pied sur la pédale, le frein est desserré et le contact de l'interrupteur ferme le circuit du moteur sur une résistance de protection, ce qui donne une

Digitized by Google

marche ralentie permettant d'exécuter facilement des déplacements de quelques centimètres; lorsque la pédale est à fond, cette résistance est éliminée et la pleine vitesse correspondant à la position donnée au combinateur est acquise.

Dans le cas du chariot à tablier mobile, un second moteur pourvoit à l'élévation de ce tablier qui s'effectue en 7 sec environ lorsqu'il est chargé avec 1 800 kg. Ce moteur est mis en circuit par la manœuvre d'un levier et y reste jusqu'à ce qu'une came entraînée par le mécanisme d'élévation agisse sur l'interrupteur. La figure 5 donne le schéma des connexions électriques de cet appareil dont on peut remarquer la simplicité.

Le courant d'alimentation est fourni par une batterie d'accumulateurs dont le nombre dépend du travail à fournir. Presque toujours on emploie des accumulateurs Edison qui sont les seuls à pouvoir supporter un long service dans les conditions très dures qui leur sont imposées. Leurs avantages, en effet, sont inappréciables pour la traction : ils sont légers (1 élément A-4 pèse 6,8 kg, un élément A-6 pèse 9,5 kg); ils ne nécessitent jamais de nettoyages intérieurs et, grâce à leurs récipients en acier laminé à parois striées, sont incassables; ils sont insensibles aux chocs et aux vibrations; ils peuvent rester indéfiniment, et sans danger, chargés ou déchargés; ils supportent sans détérioration des

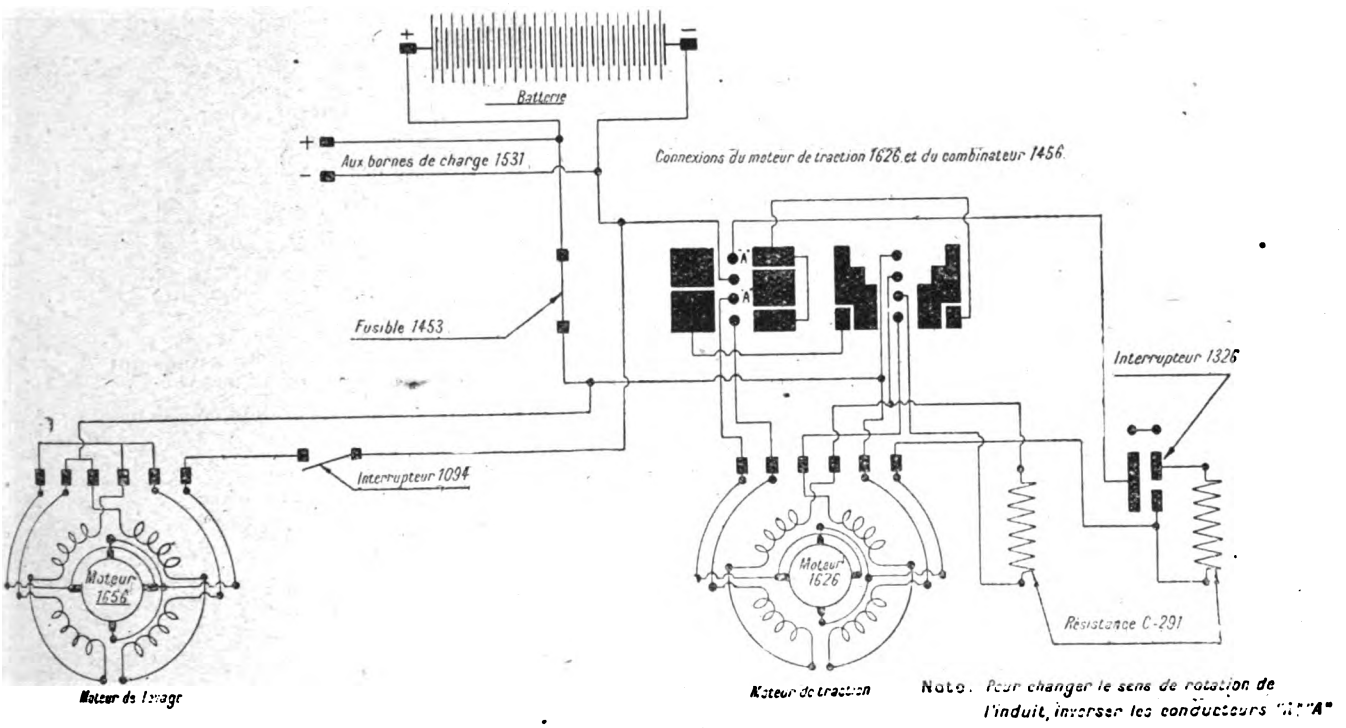


Fig. 5. — Schéma des connexions de l'équipement électrique d'un chariot à tablier mobile.

surcharges même considérables, les charges partielles ou extra-rapides, les courts-circuits; ils ne dégagent pas de gaz nocifs quand on les charge.

Toutes ces propriétés apparaissent clairement lorsqu'on étudie l'accumulateur Edison. La figure 6 représente une coupe d'un de ces accumulateurs. Les éléments positifs sont formés par une série de tubes en acier perforés, remplis d'oxyde de nickel et de nickel pur pulvérisé. Les éléments négatifs sont formés par une série de poches rectangulaires de même constitution et contenant de l'oxyde de fer en poudre. Des cadres en acier laminé, formant les plaques positives et négatives, maintiennent les tubes et les poches et sont séparés les uns des autres par des taquets en ébonite. Le tout est renfermé dans des bacs en acier mince soudés à l'autogène et remplis d'un peu de potasse dissoute dans de l'eau distillée et additionnée d'un peu de lithium.

On voit ainsi qu'il est impossible à la matière active d'être précipitée sous l'influence des chocs ou vibrations et nous pourrions citer une maison française qui emploie des batteries Edison depuis sept ans sans avoir jamais eu à y toucher.

L'entretien de ces batteries consiste uniquement en un remplissage bi-hebdomadaire des bacs avec de l'eau distillée. La densité de la solution électrolytique est de 1,2 à 15° C et la hauteur de la solution doit être maintenue à un niveau de 13 mm au-dessus des bacs que l'on ne doit jamais laisser à découvert.

Les éléments Edison du type A, quel que soit leur

Digitized by Google

numéro, donnent 1,2 v à la décharge ; ils demandent à la charge 1,8 v au maximum et le régime normal des charges est de 30 A pour les éléments A-4, 45 A pour les A-6, 60 A pour les A-8, etc... jusqu'à 90 A. La durée de la charge est de six à sept heures et elle doit être interrompue lorsque la tension reste constante à 1,8 v par élément pendant trente à quarante minutes.

Une batterie neuve ne donne pas tout de suite son plein rendement ; elle a besoin d'être brisée par les surcharges que l'on donne en maintenant le courant de charge pendant douze heures au lieu de sept. Cette sur-

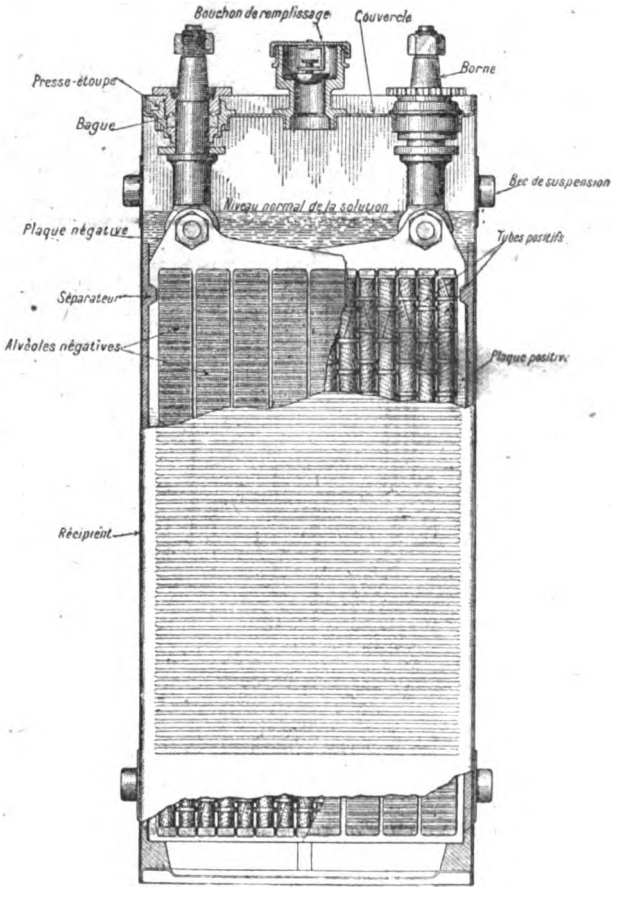


Fig. 6. — Coupe d'un accumulateur Edison.

charge doit être répétée trois ou quatre fois à des intervalles d'un mois. Si l'on constate quelque faiblesse dans le rendement de la batterie, il est bon de lui donner une charge extra-rapide dans les conditions suivantes :

5 min à 5 fois	l'intensité normale,	ou
15 id. à 4 fois	id.	ou
30 id. à 3 fois	id.	ou
60 id. à 2 fois	id.	

en vérifiant que la température ne dépasse pas 45°.

Il n'est pas inutile d'indiquer sommairement quels résultats ont été obtenus au moyen de ces chariots à accumulateurs.

Les chariots à plate-forme fixe sont destinés aux transports variés, particulièrement aux transports de pièces lourdes et de faible volume et ils peuvent être mis à la disposition des différents ateliers ; leur charge utile est de 1800 kg et ils circulent aussi bien à l'intérieur des ateliers que dans les cours. Chaque atelier, suivant ses besoins, les équipera à sa guise : avec des bennes basculantes, avec des montants et des ridelles, avec des crochets latéraux pour la manutention des tubes ou des fers ronds, etc...

Un exemple simple montrera l'économie que ces appareils permettent de réaliser : dans une importante fabrique de Tolédo, le déchargement et la mise en magasin de petites batteries demandaient 18 hommes que l'on a pu très avantageusement remplacer par un chariot et 8 hommes.

Le chariot à plate-forme élévatoire a sa place tout indiquée dans les ateliers d'usinage en série. Il apportera, par exemple, à côté d'un tour un lot de pièces brutes posées sur une plate-forme qu'il déposera à gauche de l'ouvrier ; celui-ci usinera ces pièces et les mettra au fur et à mesure sur une plate-forme placée préalablement à sa droite. Lorsque celle-ci sera chargée, le chariot viendra la prendre et l'amènera à la gauche de l'ouvrier chargé de faire l'opération suivante, et ainsi de suite. Ces transports peuvent ainsi s'effectuer d'atelier à atelier, même lorsque ceux-ci sont à grande distance. C'est ce qui a souvent lieu dans les usines qui se sont rapidement agrandies. Dans une grande manufacture nationale française, par exemple, ces chariots conduits par des femmes effectuent des trajets journaliers de 35 km environ, avec des charges de 1500 à 1800 kg, 200 manœuvres du tablier et remplacent chacun 6 à 8 hommes. On trouvera, d'autre part, dans le numéro de septembre 1918 des « Annales des P. T. T. », le compte rendu d'expériences très intéressantes effectuées avec un de ces appareils à la gare d'Austerlitz pour la manutention des sacs postaux.

Le tracteur enfin s'emploiera lorsqu'il y aura un courant continuel de marchandises entre deux ou plusieurs points fixes.

Les tracteurs permettent de remorquer 10 à 15 chariots chargés d'une tonne environ. Ils rendent de grands services pour le transport des marchandises d'un quai à un magasin, d'un magasin à un autre, etc... Leur vitesse maximum est, en général, de 8 km à l'heure et ils peuvent très facilement circuler à l'extérieur des bâtiments.

On estime qu'il y a actuellement 5000 chariots électriques en service dans le monde, dont les 4/5 en Amérique. Cela s'explique facilement parce que les Etats-Unis ont su bien avant nous utiliser judicieusement leur main-d'œuvre. Les circonstances nous obligent actuellement à économiser nos hommes et il est à prévoir que la réorganisation qui se produira dès la fin de la guerre consacrera l'emploi en France de ces véhicules.

Jacques DESCHAMPS,
Ingénieur civil, licencié ès sciences.

Digitized by Google

Effets d'induction produits par le courant alternatif de traction sur les lignes téléphoniques et télégraphiques [1]

M. H.-S. Warren a présenté à l'American Institute of Electrical Engineers une communication relative à l'influence des courants alternatifs employés en traction sur les circuits téléphoniques. L'article ci-dessous reproduit, d'après cette communication, les principales conclusions auxquelles conduit l'étude théorique de ces phénomènes et indique les moyens employés pour réduire ces effets dans quatre installations importantes des Etats-Unis.

Introduction. — La « R. G. E. » a publié antérieurement [2] un article traitant de l'influence des lignes à haute tension sur les lignes téléphoniques d'après un mémoire présenté par MM. Griswold et Mastiek à « l' A. I. E. E. » Une étude récemment parue [3] fournit d'utiles compléments aux premiers résultats indiqués et donne des indications intéressantes sur les moyens utilisés pour éviter les effets d'induction dans le cas particulièrement important des circuits téléphoniques établis dans le voisinage d'une ligne de traction à courant alternatif.

Nous rappelons qu'il est avantageux de considérer dans les lignes d'énergie les tensions et courants qui produisent l'induction comme formés de deux composantes : les tensions et courants équilibrés par rapport à la terre ; les tensions et courants résiduels, c'est-à-dire non équilibrés par rapport à la terre.

En général les troubles produits dans les circuits téléphoniques sont dus plus particulièrement aux courants résiduels, d'une part, parce que leurs effets ne se compensent pas et, d'autre part, parce qu'ils comportent le plus souvent une grande proportion d'harmoniques qui sont particulièrement gênants dans les circuits téléphoniques.

Avant de recourir à des mesures concernant les lignes elles-mêmes, il convient de réduire au minimum les courants résiduels provenant des alternateurs ou des transformateurs de départ. Toute dyssymétrie existant dans ces appareils augmente évidemment l'importance des courants résiduels. Ainsi un groupe de transformateurs triphasés connectés en étoile avec le neutre à la terre donne lieu à des courants résiduels consistant en harmoniques triples par suite de l'inégalité de perméabilité du fer et de la différence des impédances des transformateurs. Il y aura lieu soit de rendre ces impédances identiques, soit d'établir un enroulement supplémentaire servant de passage aux courants résiduels. De toute façon, il importe de se préoccuper d'établir le plus complet équilibre dans le circuit d'énergie dès son origine. On peut ainsi quelquefois obtenir économiquement un résultat qui, recherché en d'autres points du circuit, serait bien plus coûteux ou difficilement réalisable.

De même la ligne d'énergie doit présenter une symétrie aussi parfaite que possible. Les inégalités de capacitance des différents conducteurs par rapport à la terre produisent des courants résiduels qu'on arrive d'ailleurs à atténuer très suffisamment au moyen de transpositions. On peut admettre que ces transpositions sont à réaliser tous les 10 à 20 km, cette dernière valeur étant applicable à une ligne à section triangulaire.

Les courants résiduels sont augmentés par les branchements, surtout si ceux-ci viennent à être mis à la terre. En cas d'accident provoquant une mise à la terre d'un point quelconque d'un branchement et surtout de la ligne elle-même, ces courants résiduels peuvent devenir considérables. Il sera nécessaire de tenir compte de ces conditions dans l'établissement et l'entretien de la ligne qui devront être particulièrement soignés dans les parties où les circuits téléphoniques lui seront parallèles.

Les effets de l'induction due à la ligne d'énergie sont d'autant plus accentués que la ligne téléphonique est elle-même plus éloignée de l'équilibre. Cet équilibre est d'ailleurs très difficile à réaliser pratiquement de façon satisfaisante en raison de l'extrême sensibilité du téléphone qui accuse le moindre déséquilibre.

En résumé, il est nécessaire d'établir une symétrie aussi complète que possible aussi bien dans la ligne téléphonique que dans la ligne d'énergie. Ceci fait, on arrivera le plus souvent à atténuer dans une mesure suffisante les courants d'induction en réalisant, dans les portions où le parallèlisme existe, un système de transpositions convenable. On entendra par parallélisme une proximité suffisante pour que les effets d'influence soient sensibles. Il y a lieu de remarquer que ce sytème de transpositions est différent des transpositions destinées à compenser l'inégalité des capacitances dans la ligne d énergie, ces dernières s'appliquant nécessairement à toute la longueur de la ligne et non pas seulement aux parties où le parallélisme est réalisé.

Facteur a considérer. — Les principaux facteurs qui interviennent dans le problème de l'influence sont les suivants :

1° Longueur du parallélisme ;
2° Distance des deux lignes ;
3° Disposition des conducteurs de la ligne d'énergie ;
4° Valeur et fréquence fondamentale des tensions et intensités normales dans la ligne d'énergie ;
5° Valeur des tensions et intensités résiduelles ;
6° Forme des tensions et intensités résiduelles ; valeur et fréquence de chaque harmonique ;
7° Dyssymétries dans les circuits téléphoniques, importance, caractère et emplacement de ces dyssymétries ;
8° Appareils du circuit téléphonique et distance de ces appareils aux régions de parallélisme ;
9° Valeur des tensions et intensités anormales dans la ligne d'énergie ;
10° Nombre de portions de la ligne d'énergie parallèles

[1] H.-J. Warren. *P. A. I. E. E.* août 1918, t. xxxvii, p. 1018-1048, 12 000 mots.
[2] P.-L. Le problème pratique de l'influence des lignes à haute tension sur les lignes téléphoniques ; *R. G. E.* 19 mai 1917, t. I, p. 763-767.
[3] N.-S. Warren. Inductive effects of alternating current railroads in communication circuits ; *Proceedings of the A. I. E. E.*, t. xxxvii, n° 8, p. 1019-1048.

Digitized by Google

à la ligne téléphonique et susceptibles de cumuler leurs effets sur celle-ci ;

11° Importance et mode d'utilisation de la ligne téléphonique ;

12° Longueur du circuit téléphonique ;

13° Coût relatif des différents moyens employés pour éviter l'influence.

Induction due à une ligne de traction à courant alternatif. — Dans ce cas, trois causes principales produisent des effets d'induction.

1° Valeur élevée du courant de traction ;

2° Tout le courant doit être considéré comme résiduel ;

3° La ligne de traction est sujette à des événements anormaux, notamment à des court-circuits bien plus fréquents que toute autre ligne d'énergie.

On peut classer comme suit les effets produits par le courant de traction sur les installations télégraphiques ou téléphoniques :

1. — Troubles dans l'exploitation.

a) Interruption du service due au fonctionnement des appareils de protection ;

b) Fonctionnement intempestif des sonneries aux tensions induites de 8,20 ou 200 v suivant le type ;

c) Friture ;

d) Troubles dans les signaux télégraphiques.

2. — Dommages causés aux installations ;

a) Risques d'incendie ;

b) Magnétisation des bobines ;

3. — Accidents causés aux employés et au public.

a) Choc électrique ;

b) Choc acoustique.

L'étude des effets d'induction dus au courant de traction a permis de déterminer approximativement les valeurs de la tension induite dans un circuit téléphonique par unité de longueur pour une intensité de 100 A dans le trolley, en fonction de la distance horizontale entre le trolley et la ligne télephonique et pour des pourcentages variables du courant de trolley circulant dans les rails. Par exemple, la proportion du courant circulant dans les rails étant égale à 60 pour 100 du courant de trolley, les tensions induites par mile (1 600 m environ) pour 100 A dans le trolley, sont respectivement d'environ 10 v, 5 v et 1 v à des distances de 15 m, 100 m et 1 330 m. Ainsi à une distance de 50 m, avec un courant de 100 A dans le trolley, un parallélisme de 10 miles (16 km environ), donne lieu à une tension induite de 1 000 v. Ces chiffres ne peuvent être donnés qu'à titre d'indication ; il va sans dire que les valeurs réelles dépendent également du chemin parcouru par la partie du courant qui passe par la terre. D'ailleurs, en cas de court-circuit, le courant de trolley pourra atteindre plusieurs milliers d'ampères et les effets d'induction seront beaucoup plus graves à moins que des précautions spéciales n'aient été prises.

L'influence d'un courant étranger d'une intensité donnée sur un circuit téléphonique dépend beaucoup de sa fréquence. L'effet maximum se produit dans les environs de 1100 p : sec. Aux basses fréquences, le trouble apporté s'atténue rapidement et à 25 p : sec, l'effet peut être évalué à environ 1/2000 de sa valeur à 1 100 p : sec. Ceci explique que la « friture » ne soit pas très importante en général dans le cas où le courant de traction est à 25 p : sec. D'ailleurs ce courant ne comprend qu'une faible part d'harmoniques voisins des fréquences téléphoniques et l'effet de ces composantes à haute fréquence s'atténue plus rapidement que celui du courant fondamental quand la distance des lignes augmente. Cet effet de friture est cependant susceptible d'accroissement et peut devenir gênant quand certaines conditions modifient la forme de la courbe représentative du courant dans la ligne d'énergie.

Les circuits télégraphiques peuvent être également gênés par le courant induit à 25 p : sec dès que celui-ci atteint 1 milliampère pour le morse. Les appareils télégraphiques à grand rendement sont plus ou moins gênés par les courants induits pour des valeurs variables de ces courants.

Le risque d'incendie est d'autant plus difficile à éviter que l'épaisseur d'isolant des conducteurs téléphoniques est très limité en raison de la nécessité de loger un grand nombre de ces conducteurs dans un espace étroit. L'expérience a montré que les tensions induites sont dangereuses à partir de 200 v et peuvent même l'être au-dessous de cette valeur si la puissance est élevée, comme il arrive précisément dans le cas du courant de traction. Bien que les risques d'incendie dus aux installations de traction doivent être attribués principalement aux hautes tensions induites en cas de court-circuit, il est également possible que les actions électriques répétées, qui se produisent en temps normal, tendent à diminuer la résistance du diélectrique et favorisent la rupture de l'isolant.

Les diverses sortes de troubles susceptibles d'être causés par l'induction due à une ligne d'énergie, étant ainsi définies, nous allons examiner les moyens propres à protéger les circuits téléphoniques et télégraphiques contre ces effets. Ces moyens s'appliquent soit à la ligne d'énergie, soit à la ligne téléphonique.

Le moyen le plus sûr consisterait évidemment à éviter le parallélisme ; mais ce moyen est d'autant plus difficile à employer que les deux lignes desservent en général les mêmes points. De plus, lorsque le circuit du courant de traction emprunte les rails, la zone où s'exerce l'effet d'induction est bien plus grande que dans le cas d'une ligne ordinaire, de transport d'énergie. Il en résulte qu'un éloignement suffisant pour assurer la protection des lignes téléphoniques ne peut en général être obtenu.

On a employé, pour neutraliser l'effet d'induction, des transformateurs dits « de neutralisation » qui absorbent une grande partie de la tension induite. Ces transformateurs comprennent un certain nombre d'enroulements. Les uns, appelés primaires, sont insérés dans un certain nombre de conducteurs qui sont mis à la terre aux limites ou au delà de la zone de parallélisme ; les autres, dits secondaires, sont placés en série sur les conducteurs dans lesquels la tension induite est à neutraliser. Dans des conditions favorables, la tension induite restante ne dépasse pas 5 à 10 pour 100 de la tension induite totale.

Ce procédé présente certains inconvénients au point de vue téléphonique ou télégraphique. Les circuits primaires dont le nombre est en général le tiers ou la moitié du nombre des circuits secondaires sont pratiquement perdus pour l'exploitation télégraphique, bien qu'ils puissent être employés pour le téléphone, avec un rendement réduit. De plus, cette méthode ne fournit qu'une solution incomplète du problème, car elle est inapplicable aux branchements d'abonnés et ne donne pas de résultats satisfaisants en ce qui concerne les harmoniques élevés qui produisent la friture. L'emploi de ces transformateurs permet cependant d'atténuer les courants d'induction restants, après que d'autres procédés ont réduit à leur source même ces causes de trouble. Ils présentent à cet égard, un certain intérêt.

Les bobines dites de drainage établies sur une ligne téléphonique, leur milieu étant à la terre, fournissent pour les courants induits un passage de faible impédance entre conducteurs et terre qui permet de réduire la tension. Ces

Digitized by Google

bobines doivent être construites de manière à être rigoureusement équilibrées ; sinon elles présenteraient plus d'inconvénients que d'avantages en apportant au contraire une cause de troubles dans le circuit. D'ailleurs, elles augmentent en tout cas la sensibilité du circuit aux modifications de résistance ou d'impédance qui peuvent se produire dans le reste de l'installation, et elles réduisent le rendement de la transmission téléphonique. Pour le télégraphe, il est indispensable de placer des condensateurs en série avec ces bobines dont l'emploi devient ainsi peu avantageux. Ces bobines sont à employer principalement dans les branchements téléphoniques privés qui se trouvent dans le voisinage de lignes à haute tension.

Il peut être intéressant également pour des installations privées d'insérer aux extrémités des zones de parallélisme des transformateurs qui permettent de séparer les appareils des portions exposées de la ligne. Ce procédé n'est pas applicable en dehors des branchements d'abonnés en raison des pertes de transformation qui en résulteraient.

On a essayé d'employer pour protéger les circuits téléphoniques un simple conducteur de cuivre mis à la terre aux deux extrémités de chaque zone de parallélisme. Si ce conducteur possède une impédance convenable, son action peut neutraliser les tensions induites dans le circuit téléphonique. Les résultats obtenus n'ont pas été très satisfaisants.

De même, l'emploi de circuits résonants obtenus au moyen de self-inductances et de condensateurs convenables n'a pas conduit à des résultats intéressants. La résonance établie pour une fréquence de 25 p : sec correspondrait en effet aux signaux télégraphiques des appareils à grande vitesse; établie pour la fréquence des harmoniques elle correspondrait aux fréquences les plus intéressantes des transmissions téléphoniques. Par contre, le procédé est applicable aux installations télégraphiques à manipulation relativement lente.

Ces différents procédés s'appliquent aux circuits téléphoniques ; de ce fait, ils n'agissent pas sur la cause de troubles et, par suite, doivent être répétés sur chacun des circuits. On peut également employer sur la ligne d'énergie des mesures qui atténuent déjà très sensiblement la cause elle-même de son origine.

L'un des procédés les plus efficaces consisterait à établir un double trolley de façon à éviter toute circulation de courant dans le rail ou la terre. Cette méthode compliquerait l'établissement de la ligne notamment aux bifurcations et dans les gares, mais présenterait néanmoins de sérieux avantages en particulier en réduisant les pertes. Elle a été peu appliquée jusqu'ici.

L'augmentation du nombre de sous-stations est également avantageuse parce qu'elle réduit l'étendue et l'importance des courants d'alimentation et des courants de terre. De même, il y a intérêt à sectionner le trolley le plus possible.

Dans le cas d'une double voie, l'emploi de deux trolleys permettrait de réduire le courant circulant dans les rails et la terre à la différence des courants circulant dans les deux trolleys en ayant soin d'opposer le courant dans ces deux circuits. Cette disposition a été réalisée avec succès dans les lignes à courant continu. Pour les lignes à courant alternatif, elle est considérée comme présentant des inconvénients trop sérieux au point de vue de l'établissement des lignes, et cette solution, examinée en détail par le New Haven Railroad en 1912, lors de l'étude de l'électrification du tronçon Woodlawn-Stamford, a été rejetée.

Le transformateur-compensateur, employé actuellement sur ses lignes principales par le New-Haven Railroad, réduit d'une façon très avantageuse les courants de dispersion particulièrement quand l'alimentation se produit des deux côtés à la fois. Son emploi exige toutefois l'établissement d'un circuit combiné de transport et de distribution dont les différentes parties sont reliées entre elles par des auto-transformateurs-compensateurs, alors que la tendance générale actuelle consiste plutôt à réaliser l'alimentation au moyen d'une ligne de transport séparée alimentant le trolley au moyen de transformateurs normaux.

Une autre solution avantageuse consiste à employer à de fréquents intervalles des transformateurs-survolteurs ou transformateurs suceurs (1), le primaire étant en série avec le trolley et le secondaire avec le circuit de la voie. On peut également relier le feeder aux rails par intervalles, le secondaire du transformateur-survolteur étant en série avec ce feeder. Ce dernier procédé est employé par le London, Brighton and South Coast Railway; il présente un inconvénient assez notable qui est d'augmenter les frais d'établissement du feeder dont la conductivité doit être très élevée.

Réalisation pratique et résultats obtenus dans quelques installations. — 1° Ligne Woodlawn-Stamford du New-York, New-Haven and Hartford Railway. — La ligne Woodlawn-Stamford a commencé à fonctionner en partie pendant l'été de 1907. Cette ligne comporte quatre voies sur 34 km de longueur, l'énergie étant fournie par l'usine de Cos Cob, à environ 5 km à l'ouest de Stamford. Le train étant à Woodlawn le courant avait à parcourir 29 km de trolley ou de feeder de Cos Cob à la locomotive pour revenir ensuite par les rails de la voie et la terre. Sur tout le parcours, les lignes téléphoniques souterraines New-York-Boston sont à une distance moyenne de 600 m environ qui serait largement suffisante pour que l'influence du courant du trolley fut compensée par celle du courant du rail, si ces deux courants étaient égaux. Mais, en raison de la longueur du parcours, une grande partie du courant de retour passe par la terre et n'a plus qu'un effet absolument négligeable à côté de l'effet dû au courant du trolley.

On a constaté ainsi qu'un courant à 25 p : sec, d'une tension de 170 v, était induit dans les conducteurs téléphoniques aux heures de plein fonctionnement du chemin de fer. Sur les circuits aériens de la Shore Line qui dessert également le parcours New-York Boston, la tension induite atteignait environ 300 v, le maximum se produisant sur une portion de parallélisme de 2 500 m environ près de Greenwich, où la distance moyenne est d'environ 30 m. Ces circuits subissaient également un effet de friture; l'intensité était croissante au moment de l'accélération de la vitesse d'un train et l'élévation du son était proportionnelle à la vitesse du train. Aucune friture n'a été constatée dans les lignes souterraines dont les câbles recouverts d'une gaine en métal n'étaient d'ailleurs pas très voisins de la voie ferrée. Les circuits de la Midland Line qui passent à 6,5 km environ de la voie au point le plus voisin subissaient un courant induit d'une tension de 40 v environ.

Les lignes de la Western Union Telegraph Co montées sur poteaux à proximité immédiate de la voie ferrée étaient soumises à des tensions induites bien plus élevées. A l'exception de quelques circuits pourvus de transformateurs

(1) Les transformateurs-suceurs ont été employés avec succès sur la ligne Perpignan-Villefranche de la Compagnie des Chemins de fer du Midi. Voir à ce sujet l'étude très complète parue dans la *R. G. E.*, 3 mars 1917, t. 1, p. 331 et suivantes, sous la signature de M. Ch. Dachary.

Digitized by Google

de neutralisation qui continuèrent à être utilisés par la Compagnie de chemin de fer, les lignes durent être reportées à une distance de plusieurs kilomètres.

Cette situation dura environ quatre ou cinq ans. Vers 1911, la Compagnie manifesta son intension d'étendre l'électrification à la ligne de la Harlem River et au chemin de fer de New-York, Westchester, Boston. La première ligne est à 6 voies sur 20 km de longueur environ de New-Rochelle où elle se relie au tronçon principal jusqu'à Harlem River. Le chemin de fer New-York, Westchester, Boston est en partie à 4 voies, en partie à 2 et a été construit principalement pour le service suburbain ; il s'étend de West Farms où il se relie au tronçon de Harlem River jusqu'à White Plains sur un parcours de 25 km environ. L'ensemble de ces lignes représente environ 320 km de voie simple.

Etant donné l'accroissement prévu de trafic et par suite de charge, on estimait à environ 1 500 v la tension induite dans les circuits aériens de la Shore Line et à 1 000 v celle induite dans les circuits souterrains, pour les charges maxima et dans les conditions normales d'exploitation. Ces valeurs dépassent largement ce que peut supporter la ligne téléphonique, même sans tenir compte des chances d'accident.

Après une série d'études entreprises de concert entre les intéressés, les mesures suivantes ont été arrêtées et réalisées à partir de janvier 1914. Une nouvelle usine a été établie à West Farms ; de plus, 17 transformateurs-compensateurs de 2 000 kv-a ont été placés le long de la ligne en des points choisis de manière à assurer à la fois l'alimentation du trolley dans les conditions les plus avantageuses et à réduire la longueur du circuit de retour. Le même dispositif a été réalisé par la suite lors de l'extension du réseau de Stamford à New-Haven. Grâce à ces modifications, la tension induite dans les circuits souterrains dépasse rarement 30 v dans les conditions normales d'exploitation du chemin de fer.

Les principales causes de troubles restantes — en dehors de la ligne de New-Canaan dont il est parlé plus loin — sont les court-circuits qui se produisent dans le voisinage de Stamford.

Dans une zone de 11 km environ comprenant Stamford, les circuits principaux et d'abonnés ont subi des troubles (fonctionnement intempestif des sonneries et des signaux, mise à la terre des organes de protection) à une vingtaine de reprises en trois ans et sur une vingtaine de circuits. Il y a lieu de remarquer que ce tronçon défavorisé ne représente que le 1/9 environ de la longueur totale de la ligne Woodlawn-New-Haven.

2° Ligne de New-Canaan. — Cette ligne, primitivement en continu 500 v, fonctionne depuis 1907 en courant alternatif 11 000 v. Elle est reliée directement près de Stamford au réseau principal du New-Haven Railroad. Sa longueur est d'environ 10 km avec voie simple. Le trafic est faible de sorte qu'en exploitation normale il ne se produisait aucun effet d'induction sensible dans les circuits téléphoniques ou télégraphiques. Par contre, de nombreux courts-circuits se produisaient dans la ligne de traction causant des troubles sérieux dans les communications téléphoniques. En raison du mode d'alimentation, le courant de court-circuit à New-Canaan atteint 2 500 a, c'est-à-dire 10 fois l'intensité maximum en exploitation normale et cette intensité s'élève encore quand on se rapproche de l'embranchement avec la ligne principale.

Les effets d'induction sur ce tronçon se trouvaient encore accrus par suite de l'impédance relativement élevée de la voie simple qui provoquait la dérivation par la terre d'une importante partie du courant de retour. On a constaté des tensions induites de 1 000 v dans les circuits téléphoniques interurbains passant par New-Canaan et des tensions de 500 v dans le réseau urbain. Il en résultait de fréquentes mises à la terre des organes de protection et des chocs acoustiques d'une telle intensité que le rendement du personnel au central téléphonique de New-Canaan en fut sérieusement affecté. On décida finalement, en 1913, de recourir aux mesures suivantes : 1° réalisation d'une bonne liaison électrique entre les rails ; 2° insertion dans le trolley, près de sa jonction avec la ligne principale, d'une bobine de réactance destinée à limiter le courant de court-circuit ; 3° installation de 12 transformateurs-survolteurs à des intervalles de 800 m environ ; 4° réglage du disjoncteur au point d'embranchement de manière à assurer la rupture immédiate.

Ces mesures n'ont pas encore été complètement réalisées, notamment, 6 transformateurs sur 12 seulement ont été mis en place et la bobine de réactance n'est pas encore montée. Néanmoins, les essais effectués jusqu'ici et les améliorations déjà réalisées ont donné des résultats qui permettent de compter sur une solution satisfaisante du problème. Il y a lieu de noter que l'emploi du transformateur-compensateur qui a donné toute satisfaction sur la ligne principale du New-Haven Railroad n'a pas été reconnu efficace dans les conditions de fonctionnement du tronçon de New-Canaan.

3° Réseau du Norfolk and Western Railroad. — La ligne est électrifiée entre Bluefield et Vivian (West Virginia) sur une longueur de 45 km environ. Le chemin de fer est à double voie avec des gares et voies de garage nombreuses et présente de fortes rampes. L'usine génératrice est située à Bluestone, à 17 km à l'ouest de Bluefield, et l'énergie est transmise sous 44 000 v à 5 sous-stations situées respectivement à des distances de 14 km, 7 km, 10,5 km et 7,7 km les unes des autres en partant de Bluefield. La tension est abaissée à 11 000 v dans ces sous-stations pour l'alimentation du trolley qui ne présente pas de discontinuité électrique d'un bout à l'autre entre Bluefield et Vivian.

Sur la proposition de la Compagnie téléphonique, les mesures de protection adoptées consistèrent à installer 23 transformateurs-survolteurs à des espacements moyens de 2,5 km à l'est de la station génératrice et de 1,6 km à l'ouest. La puissance de chaque transformateur était de 100 kv-a en charge normale et de 400 kv-a en surcharge de 2 min 1/2.

Les résultats obtenus ont été les suivants : pas de trouble en exploitation normale ni dans les circuits parallèles à la voie qui se rapprochent pourtant à 150 m environ en plusieurs points, ni dans les circuits de la Bluefield Telephone Co, voisins de la voie ; quelquefois, la rupture et la mise à la terre de conducteurs de traction produit de la friture dans certaines lignes. Une nappe téléphonique qui traverse souterrainement la voie est quelquefois mise hors service en cas de fonctionnement anormal du circuit de traction par suite de la mise à la terre des paratonnerres de la traversée. On a constaté également quelques troubles provenant de la détérioration de l'enveloppe de plomb à des traversées souterraines du chemin de fer dans Bluefield, sans pouvoir établir avec certitude si cette détérioration est due à l'électrolyse par le courant de traction.

4° Chemin de fer Broad Street-Paoli. — Les projets d'électrification de la ligne à quatre voies Broad Street-Paoli du Pennsylvania Railroad datent de 1913. Après en-

Digitized by Google

tente avec les Compagnies téléphoniques intéressées, il fut décidé en 1914 d'installer des transformateurs survolteurs dans le but de faire passer le courant de retour par les rails.

L'énergie est fournie à 44 000 v aux trois sous-stations de West Philadelphia, Bryn Mawr et Paoli d'où elle est transmise à 11 000 v au trolley de la ligne. Sur le parcours sont établis 16 transformateurs d'une puissance normale de 80 kv-a pouvant supporter 600 kv-a pendant une minute; l'intervalle entre deux transformateurs consécutifs est d'environ 1600 m.

A partir de juillet 1916, la Compagnie a employé sur la ligne de traction des condensateurs synchrones (moteurs synchrones surexcités); il en est résulté dans les transformateurs-survolteurs des surcharges considérables en cas de court-circuit. Cet inconvénient paraît provenir de la saturation rapide du fer et de la dérivation vers la terre du courant magnétisant, consistant principalement en harmoniques triples. La courbe du courant se déforme par suite de cette surcharge et les tensions induites en cas de court-circuit peuvent, dans ces conditions, être augmentées par la présence des transformateurs. En fait, il a été reconnu préférable de supprimer les transformateurs sur une portion de la ligne à l'est de Bryn Mawr.

Les tensions maxima induites, tous les transformateurs étant en service, atteignent 10 v pour les lignes d'abonnés et 25 v pour les circuits interurbains en exploitation normale. En cas de court-circuit, on estime, d'après les essais et les calculs faits, que ces tensions pourraient dépasser respectivement 1000 et 1200 v. Dans les mêmes conditions, tous les transformateurs étant supprimés, les valeurs correspondantes des tensions induites sont de 50 et 125 v en exploitation normale et de 225 et 900 v seulement en cas de court-circuit. Ces chiffres correspondent au fonctionnement simultané de deux condensateurs synchrones sur le circuit de traction.

Les troubles causés dans les lignes téléphoniques se sont manifestés également par des sonneries intempestives. Pendant les trois premiers mois de l'exploitation jusqu'en janvier 1916, le nombre de courts-circuits par mois fut de 10, causant 2000 cas environ de fonctionnement accidentel des sonneries. Pendant les sept mois suivants, ces chiffres baissèrent respectivement à 4,5 courts-circuits et 57 sonneries. Depuis juillet 1916, le nombre de courts-circuits s'est encore réduit jusqu'à 1,5 par mois. Ces améliorations successives sont dues, d'une part, à une modification convenable des disjoncteurs et des circuits de contrôle du chemin de fer, d'autre part à l'emploi de relais dans les sonneries d'abonnés ou à la simple inclinaison de ces sonneries dans les appareils moins affectés par les troubles. Ce travail intéressait 3000 postes téléphoniques particuliers.

Bien que le nombre de courts-circuits causant le fonctionnement des sonneries ait pu être ainsi progressivement réduit, l'augmentation des tensions induites, en cas de court-circuit, due à la présence de condensateurs synchrones provoqua, à partir de juillet 1916, un accroissement du nombre moyen de cas de fonctionnement accidentel; de sorte que le nombre moyen de sonneries intéressées par chaque court-circuit passa de 18 avant juillet 1916 à 72 après cette date. Toutefois, cet accident ne cause pas, en général, d'interruption de service, la tension induite étant insuffisante pour mettre les organes de protection à la terre.

L'expérience a montré qu'il était nécessaire d'abandonner tout procédé d'appel faisant intervenir la terre dans le circuit. Il a été constaté, d'autre part, que le ronflement dû à la ligne était appréciable sans être gênant.

Jusqu'à présent, les circuits téléphoniques voisins de la la ligne de traction n'ont pas été employés pour le télégraphe. Cette utilisation est toutefois prévue et nécessitera l'installation de transformateurs de neutralisation, dont nous avons énuméré ci-dessus les inconvénients.

En ce qui concerne les dangers d'incendie, bien que jusqu'ici les installations téléphoniques aient été épargnées, on estime que le risque est sérieux en raison de l'élévation des surtensions en cas de court-circuit. Les trois postes les plus exposés qui se trouvent à l'ouest de Bryn Mawr ont été pourvus pour cette raison d'organes de protection contre les surtensions qui eussent été inutiles dans des conditions normales, les lignes étant souterraines; de plus, on a créé une garde de nuit pour le cas d'incendie.

En somme, les différents effets dus à l'induction ont pu être suffisamment atténués pour la pratique. De nouvelles améliorations ont été projetées, notamment la création de deux nouvelles sous-stations et le sectionnement du trolley en ces deux points. On estime que cette modification permettra de réduire à 250 v la tension maximum induite en cas de court-circuit; elle atténuera également les autres inconvénients constatés. Le montant des frais est évalué à 700 000 fr.

Un autre projet consiste à augmenter le nombre des transformateurs survolteurs, de façon à réduire leur surcharge individuelle en cas de court-circuit. Ce projet consisterait à réduire à 500 ou 800 m l'intervalle entre transformateurs et coûterait de 425 000 à 750 000 fr. On objecte d'ailleurs à ce procédé le grand nombre de connexions qui seraient à établir sur les conducteurs du trolley.

Conclusion. — L'étude de M. H.-S. Warren montre que nous nous trouvons actuellement en possession de procédés suffisants pour réduire à des proportions acceptables, dans la pratique, les effets d'induction dus au courant de traction, même dans le cas d'un fonctionnement anormal de la ligne de traction. Le seul obstacle qui limite la perfection des résultats obtenus est le coût souvent très élevé des dispositifs de protection. Il est souvent possible de réduire ces frais si on établit la ligne de traction en tenant compte des conditions imposées par le voisinage des lignes téléphoniques. Il sera donc nécessaire d'étudier la construction des lignes de traction de concert avec les ingénieurs du service téléphonique et d'examiner dans chaque cas les procédés à employer qui sont tout différents suivant les conditions particulières de chaque installation.

G.-B. R.

Digitized by Google

Carte des lignes télégraphiques d'Alsace

Cette carte a été trouvée dans un poste de commandement allemand lors de l'occupation de l'Alsace; par suite des nécessités de son tirage sur double page, elle est reportée aux pages 184-185.

La carte des lignes télégraphiques, que nous reproduisons ici, donne l'état du réseau télégraphique en Alsace en 1916. Depuis cette époque, de nombreux changements y ont été introduits par suite de la multiplicité des besoins militaires ou de cantonnements, mais il n'est pas douteux que ce réseau ne soit rétabli dès que les circonstances le permettront.

L'examen de cette carte appelle une réflexion : on y remarquera l'étroitesse des relations entre l'Alsace et l'Allemagne. Certes, les nécessités économiques obligeront à maintenir, après la paix, toutes ces communications qui sont autant de commodités dont jouissent actuellement les populations d'Alsace; et il ne serait ni équitable, ni prudent de les en priver; mais en revanche, un devoir correspondant s'impose, qui est de multiplier dans une mesure bien plus grande encore les liaisons directes de l'Alsace avec le reste de la France et avec Paris lui-même. On ne fera jamais trop en ce sens et nous ne doutons pas que le Gouvernement ne prenne à cet égard toutes les mesures nécessaires, sans marchander. Les communications télégraphiques sont les organes indispensables de la vie publique et de la vie économique, mais on peut dire en cette matière ce qu'on a dit en beaucoup d'autres : plus ces organes donneront de facilités, plus la fonction se développera, plus l'union avec la France sera favorisée et assurée. Et c'est là une œuvre essentielle aussi bien dans l'intérêt du commerce et de l'industrie, que dans celui de l'État et de la civilisation.

Les abrasifs électrothermiques

Au cours de ces dernières années, la chimie des corps durs ou « abrasifs » s'est enrichie de nouvelles substances, faciles à obtenir par voie électrothermique. Ces substances, préparées généralement à l'aide de matières premières peu coûteuses, possèdent les qualités nécessitées par leurs applications. Dans son travail, M. J. Escard les étudie au point de vue de leur origine, de leur fabrication, de leurs propriétés et de leurs emplois.

I. — Carborundum et dérivés.

Siliciure de carbone. — Ce composé, qui répond à la formule SiC, est remarquable par sa grande dureté, égale à 9,5 et qui le place entre le diamant et le corindon. Il forme la majeure partie de l'abrasif industriel appelé *carborundum* (1).

Le siliciure de carbone peut être obtenu dans un grand état de pureté par plusieurs procédés :

Si l'on chauffe par exemple, à l'aide de l'arc électrique, un mélange de 12 parties de carbone et de 28 de silicium, on obtient des cristaux d'apparence jaunâtre, mais parfois complètement transparents ou bleus de saphir. On peut encore obtenir ces cristaux en chauffant dans le four électrique du siliciure de fer en présence d'un excès de silicium; après l'expérience, on attaque la masse fondue par l'eau régale pour faire disparaître toute trace de fer et, après différents traitements et lavages aux acides, on obtient de très beaux cristaux de siliciure de carbone. La réduction de la silice par le charbon, dans le four électrique, donne également des cristaux par refroidissement; la transparence de ces derniers ne dépend que de la pureté des matières employées. Enfin un quatrième procédé consiste à faire réagir la vapeur de carbone sur celle du silicium; les cristaux obtenus sont durs et cassants.

Les cristaux préparés par l'une quelconque de ces méthodes ont une densité égale à 3,12; leur forme est celle de l'hexagone régulier; ils résistent à la plupart des réactifs et ne sont guère attaqués avec violence que par le chromate de plomb et la potasse. Cette dernière, à l'état fondu, le désagrège et finit par le dissoudre complètement après une heure de chauffe au rouge sombre; il se forme du carbonate et du silicate de potassium.

(1) Ainsi nommé parce que sa dureté, comme celle du siliciure de carbone, est intermédiaire entre celle du diamant (*carbone*) et celle du rubis (*corindon*).

Carborundum : Préparation industrielle. — Le carborundum est obtenu industriellement à l'aide d'un mélange de sable, charbon, sel marin et sciure de bois. Le sel marin facilite la réduction du sable quartzeux et la sciure de bois rend le mélange plus poreux, facilitant ainsi le dégagement des vapeurs. Pour une charge de 500 kg, on emploie les poids suivants de matières premières :

Sable quartzeux	260 kg
Houille anthraciteuse ou coke pulvérisé	178
Sciure de bois	53
Sel marin	9
	500 kg

L'appareil qui sert à cette préparation est un four à résistance; il (fig. 1) se compose d'un immense parallélipipède ayant environ 6 m de longueur, 1,75 m de largeur et 1,50 m de hauteur. Les petits côtés a et b du four sont construits une fois pour toutes et composés de briques réfractaires formant une épaisseur de 60 cm. Au centre de chacun de ces deux murs est disposée une plaque de fer p percée de 60 ouvertures environ dans lesquelles passent les électrodes E ayant 75 cm de longueur et 75 mm de côté. L'intervalle compris entre toutes ces tiges est rempli de graphite fortement tassé de façon que l'ensemble forme une seule masse à

Digitized by Google

laquelle on amène le courant par des câbles c, c' de grande section réunis à la plaque de fer p.

Les autres côtés du four sont également construits en briques réfractaires; après chaque opération on les démolit, car, pendant la fabrication, il s'est formé des incrustations à la surface des briques; celles-ci doivent donc être désunies et nettoyées avant de servir à une nouvelle opération, les incrustations produisant une dérivation du courant en raison de leur conductibilité.

Pour mettre l'appareil en marche, on commence par le remplir aux quatre cinquièmes avec le mélange indiqué plus haut, en ayant soin de réserver, au moyen de plaques de tôle, une rigole r entre les deux électrodes; dans cette rigole on place environ 400 kg de coke granulé et l'on achève de remplir le four avec le mélange à traiter; la partie centrale m est haussée en forme de dos d'âne, de telle façon que la hauteur définitive soit, au centre, de 2,40 m environ.

Le coke constitue ainsi une âme semi-conductrice de 4,20 m de longueur sur 55 cm de diamètre. Il est formé d'un mélange à poids égaux de coke neuf et de vieux coke (celui ci provenant d'une opération précédente). Ce mélange a pour but de diminuer la conductibilité du coke graphitique qui empêcherait, au moment de la mise en marche, de produire la quantité de chaleur nécessaire à la réaction. Par la chauffe, en effet, le coke perd la majeure partie des impuretés (cendres siliceuses, alumineuses, calcaires) qui contribuent à augmenter sa résistance électrique. En l'additionnant de coke neuf non débarrassé de ces matières, on obtient alors un noyau semi-conducteur, c'est-à-dire suffisant pour laisser passer le courant et, d'un autre côté, assez résistant pour produire l'effet calorifique nécessaire à la réaction.

Une fois l'opération bien en train, sa conductibilité peut augmenter sans inconvénient jusqu'à prendre une valeur fixe qui permet alors de supprimer le réglage du courant dans le four.

Les fours absorbent chacun environ 1 000 ch; ils sont en nombre variable, et chaque opération dure trente-six heures. Aux usines de Niagara Falls (États-Unis), le courant arrive sous la tension de 2 200 v; un transformateur le ramène à 185 v, et un régulateur permet de faire osciller la tension entre 75 et 200 v. La résistance est très grande au début; mais au fur et à mesure que le coke s'échauffe, elle diminue et l'on règle la tension jusqu'à ce qu'on obtienne une marche régulière. Lorsque le charbon servant à la confection de l'âme a servi plusieurs fois, l'opération s'effectue plus rapidement, car le coke s'est alors peu à peu transformé en graphite.

Dès que le four commence à chauffer, on voit se dégager de l'oxyde de carbone par toutes les fissures et ce gaz vient brûler au contact de l'air; il a pris naissance dans la réduction de la silice par le charbon d'après la réaction

$$SiO^2 + 2C = Si + 2CO,$$

tandis que le carborundum se forme presque au même instant d'après la réaction suivante

$$Si + C = SiC.$$

Quand une opération est terminée, on détache les câbles conducteurs de la plaque de fer et l'on met aussitôt en marche le four suivant pendant qu'on laisse refroidir celui qui vient de fonctionner. On démolit alors ce dernier, on enlève les matières n'ayant pas servi, puis la couche de carborundum cristallisé; le coke constituant l'âme a changé d'aspect et s'est partiellement transformé en graphite.

Une coupe faite à travers le four avant (fig. 2) et après (fig. 3) la fabrication du carborundum permet de se rendre exactement compte de la disposition des matières premières et entourant le cylindre de coke c; après l'opération, ce dernier, presque totalement converti en graphite, a pris

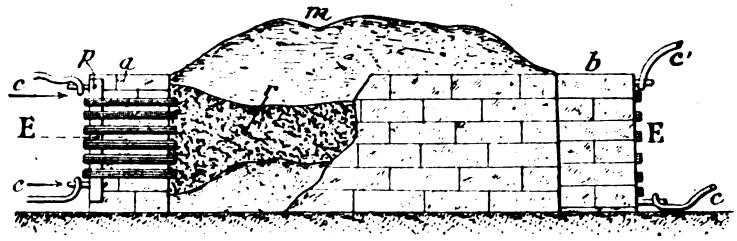


Fig. 1. — Four électrique pour la préparation du carborundum.

une teinte noir brillant caractéristique et, de sa surface extérieure jusqu'à la paroi du four, se montrent successivement et concentriquement des produits de pureté et de nature différentes. En contact immédiat avec le noyau e en d, se trouve un mélange de carborundum très pur et de graphite dû à la dissociation partielle d'une certaine quantité de carborundum. La région c, la seule qui intéresse réellement l'industriel, est occupée par du carborundum cristallisé dont l'épaisseur atteint environ 35 cm, dans un four de

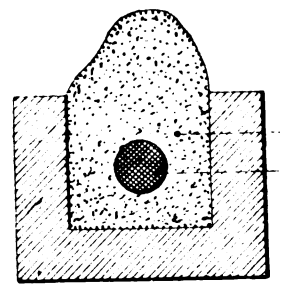


Fig. 2. — Coupe du four avant l'opération.

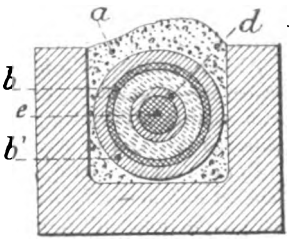


Fig. 3. — Coupe du four après l'opération.

1,50 m de largeur. Ce carborundum présente approximativement la composition suivante :

Silicium	69,10
Carbone	30,20
Calcium	0,15
Fer et aluminium	0,40
	99,94

Les zones b et b' comprennent le carborundum amorphe de première et seconde qualité dont l'épaisseur est, pour chacune, de 3 à 8 cm. Ce carborundum possède une teinte gris verdâtre et il est toujours mélangé à une certaine quantité d'oxycarbure de silicium (siloxicon) et de combinaisons silicatées plus ou moins définies. Pris aussi pur que possible, il présente à l'analyse la composition suivante :

Silicium	65,50
Carbone	27,93
Calcium	0,33
Magnesium	0,21
Fer et aluminium	5,09
	99,08

Digitized by Google

Enfin, on a se trouve la partie du mélange n'ayant pas ou presque pas réagi.

Ce mélange, qui ne diffère pas sensiblement de celui qui a été introduit au début dans le four, sert naturellement pour les opérations suivantes; on le malaxe soigneusement avec une proportion importante de mélange neuf et il est à nouveau soumis à l'action électro-thermique pour donner du carborundum.

Traitement du carborundum après fabrication. — Lorsque le carborundum a été retiré du four, il est soumis à un broyage dans une sorte de cuvette en fer dans laquelle deux lourdes meules sont en mouvement.

On emploie des appareils rotatifs garnis de plaques et de galets en silex. Aussi le carborundum contient-il de ce chef des impuretés en mélange, notamment du fer et de la silice, cette dernière étant en quantité d'autant plus importante que la poudre obtenue est plus fine. Pour du carborundum passant au tamis n° 120, les impuretés et le pourcentage de carborundum sont les suivantes :

Carborundum	86,6
Fer	0,8
Silice	11,9
Carbone libre / Eau	0,9
	99,7

Aussi, après cette première opération, le carborundum est-il soumis à l'action de l'acide sulfurique qui a pour but de détruire les impuretés qu'il peut contenir; ce traitement dure plusieurs jours. Le carborundum est ensuite lavé avec soin, séché et classé suivant sa grandeur; il existe 20 grosseurs de cristaux.

L'acide qui a servi au lavage est amené dans une série de réservoirs destinés à recueillir les poudres fines, lesquelles sont ensuite utilisées pour la production des farines et des poudres lavées à la main.

Lorsqu'il est chimiquement pur, le carborundum cristallisé est uniquement composé de silicium et de carbone dans les proportions suivantes :

	Proportions moléculaires.	Proportions en centièmes
Silicium	28,4	70,29
Carbone	12	29,71
	40,4	100,00

Le carborundum cristallisé industriel se rapproche assez sensiblement de ces chiffres. Voici, en effet, la composition de trois échantillons de carborundum commercial provenant des usines de la « Carborundum Co », à Niagara Falls :

	N° 1.	N° 2.	N° 3.
Silicium	68,6	68,1	67,8
Carbone combiné	29,1	28,9	29,3
Fer libre et combiné	1,2	1,6	0,9
Graphite libre	1,8	0,9	1,4
Calcium	0,2	0,3	0,1
	100,9	99,8	99,5

Propriétés physiques et chimiques. — Les cristaux qui forment le carborundum massif tel que celui qui est extrait du four électrique ne se touchent le plus souvent que par de fines arêtes ou par enchevêtrement. Cette constitution physique tient surtout aux gaz dégagés pendant la réaction : plus de la moitié de la charge disparaît, en effet, sous forme de gaz oxycarbonés.

Le carborundum possède une propriété physique très importante au point de vue de son emploi comme abrasif : une grande conductibilité calorifique. Il n'échauffe ainsi que très peu les matières à user et se met vite en état d'équilibre thermique avec les objets sur lesquels il frotte. C'est là un avantage de ce corps sur le corindon et l'émeri qui s'échauffent rapidement en travail même lorsqu'ils sont humectés d'eau pendant le frottement.

Les gaz réducteurs (azote, hydrogène, oxyde de carbone) sont sans action sur le carborundum même à haute température. Au contraire, l'action combinée de la chaleur et des gaz oxydants (oxygène, air, vapeur d'eau) peut se manifester sur le carborundum à des températures comprises entre 1 700° et 2 200° en le transformant superficiellement. Les recherches de Baraduc-Muller sur cette question méritent d'être citées : elles concernent l'action de l'air sur le carborundum à des températures sans cesse croissantes et étudiée à l'aide d'un four spécial dans lequel le rendement thermique était très voisin de l'unité.

On remarque ainsi que jusqu'à 1 000° environ, il ne se produit pas trace d'oxydation dans l'oxygène pur. Entre 1 000° et 1 350°, on constate au contact de l'air une oxydation superficielle qui se manifeste par un durcissement de la paroi de l'éprouvette soumise aux essais; ce durcissement résulte des traces de silice qui ont pris naissance par la décomposition du carborundum et qui ont soudé les uns aux autres les petits cristaux de carborundum en contact avec l'air. De 1 350 à 1 500°, l'oxydation s'accentue et, à 1 500°, il y a formation d'une couche de silice fondue, extrêmement mince, mais visible cependant à l'œil nu. Cette silice protège le carborundum sous-jacent d'une oxydation plus avancée jusque vers 1 600°, mais à cette température, la silice commence à se boursouffler et devient pâteuse. A 1 750°, elle coule sous la double influence de la chaleur dégagée par l'oxydation du carborundum et de la température même du four. Le carborundum peut donc rendre d'utiles services, non seulement comme abrasif, mais aussi comme produit réfractaire en raison de sa grande résistance aux agents oxydants entre 1 000 et 1 500°.

D'après Tucker et Lampen, la formation du carborundum par réduction de la silice à l'aide du carbone au four électrique s'effectuerait vers 1 950°, c'est-à-dire au moment où ce corps prend la forme cristalline. Le carbure ainsi formé se dissocie vers 2 200°, sans trace de fusion, en silicium et graphite.

D'après Gillett, la température de formation serait de 1 870° ± 20° et la température de décomposition, de 2 220° ± 20°. Ces températures ont été mesurées en fixant dans le four électrique un double tube en carborundum terminé par une plaque de graphite. Un vide partiel, était maintenu dans l'espace annulaire en vue de le débarrasser des fumées qui rendent les mesures plus difficiles. La mesure des températures était effectuée, d'une part à l'aide d'un pyromètre de Wanner à échelle amplifiée dans la région considérée et, d'autre part, à l'aide d'un pyromètre à radiation de Tchwing.

Ces résultats montrent que la température des fours industriels à carborundum ne dépasse pas sensiblement 2 200°. Une température supérieure à cette dernière donne du graphite par dissociation du carborundum formé intérieurement. Ce graphite conserve la forme du produit qui lui a donné naissance; aussi le désigne-t-on sous le nom de « squelette graphique » du carborundum.

Digitized by Google

L'action du carbone sur la silice dans le vide, étudiée par Greenwood, commence à se manifester vers 1 450° avec formation du siliciure de carbone. Ce chiffre est assez éloigné de celui indiqué par Tucher et Lampen. Quant à l'union directe du silicium pur et du carbone, elle commence à se montrer, dans le vide également, à une température voisine de 1 275°. D'après Pring, la matière carbonée exercerait une influence notable sur la température à laquelle la réaction prend naissance; la présence du fer serait de peu d'importance et n'amènerait pas grand changement dans la marche générale du phénomène.

Industrie du carborundum. — Depuis que les brevets d'Acheson, l'inventeur, sont tombés dans le domaine public en 1909, le carborundum est devenu un produit industriel libre de toute redevance. Il est juste de rappeler que la fabrication de ce produit s'est surtout développée grâce aux qualités commerciales des Américains. Son prix varie entre 400 et 650 fr les 1 000 kg avec une teneur garantie de 95 pour 100 de siliciure de carbone et une moyenne de 66 à 68 pour 100 de silicium.

La production mondiale annuelle est en moyenne de 4 000 t actuellement alors qu'elle était seulement de 450 kg

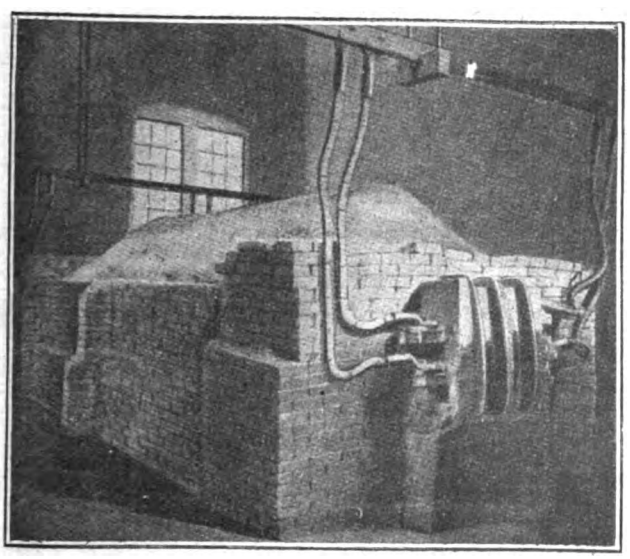


Fig. 4. — Vue d'un four électrique servant à la préparation du carborundum.

en 1892, date du début de l'industrie; cette augmentation résultante est justifiée par les nombreuses applications du carborundum.

L'inconvénient du carborundum est de ne pouvoir être aggloméré au caoutchouc. En effet, il est très facilement clivable et ses arêtes très aiguës coupent l'agglomérant; c'est aussi à cause de ce défaut qu'il est difficile de l'utiliser pour la fabrication des toiles et des pierres à polir, le support se trouvant rapidement coupé. On peut cependant arriver à des résultats intéressants en le fixant sur de la porcelaine fondue, mais alors les frais de fabrication et de cuisson rendent le produit définitif d'un prix très élevé.

Actuellement le carborundum est employé pour toutes sortes d'usages, notamment comme matière abrasive, comme produit réfractaire, pour la fabrication des résistances électriques, en métallurgie. Il peut servir à faire des limes, des meules, des molettes; il est employé dans le travail du verre, du cristal, des métaux durs, l'affutage des scies, le polissage du granit. On peut en général l'utiliser avec succès pour la fabrication de tous les articles dans lesquels on se sert de l'usure pour produire le polissage.

Carborundum aggloméré ou compact. — Le carborundum cristallisé possédant toujours une grande friabilité et une faible cohésion, on a eu l'idée de le transformer en carborundum aggloméré ou compact de façon à pouvoir l'utiliser d'une façon plus pratique et à multiplier ainsi ses emplois.

Dans le *procédé Acheson*, on mélange le carborundum cristallisé et possédant un grain déterminé avec une faible quantité d'une substance agglutinante, capable d'être dissociée à haute température. On forme avec ce mélange une pâte homogène et on l'introduit dans un moule ayant les dimensions et le contour exacts de l'objet à fabriquer. On transporte ensuite le moule dans un four électrique différent de celui qui sert à la fabrication du carborundum et qui permet de le porter à une température voisine de celle de la formation du carborundum. Pendant cette sorte de cuisson, l'agglomérant disparaît après avoir soudé les cristaux de carborundum; on obtient finalement un produit compact et très dur qui peut servir aux mêmes usages que le produit cristallisé de première fabrication.

Dans le *procédé Bauvier*, qui a été expérimenté aux usines de La Bathie (Savoie), on a cherché surtout à utiliser les carborundums amorphes et presque toujours inutilisables en les transformant, par élimination des impuretés oxycarbonnées du silicium, en un produit cristallisé d'une plus grande richesse en carborundum. On se contente pour cela de traiter à nouveau les produits amorphes dans un four électrique, mais cette fois à une température supérieure à celle de leur formation. Par la chaleur dégagée au cours de cette seconde opération, les gaz disparaissent et permettent ainsi au produit final de posséder une structure beaucoup plus serrée que celle du début. Il peut se débiter facilement en morceaux de toutes formes et de toutes épaisseurs, mais il se désagrège encore rapidement sous l'action d'efforts mécaniques peu intenses. Il paraît par contre pouvoir rendre d'utiles services comme agent de condensation des vapeurs acides.

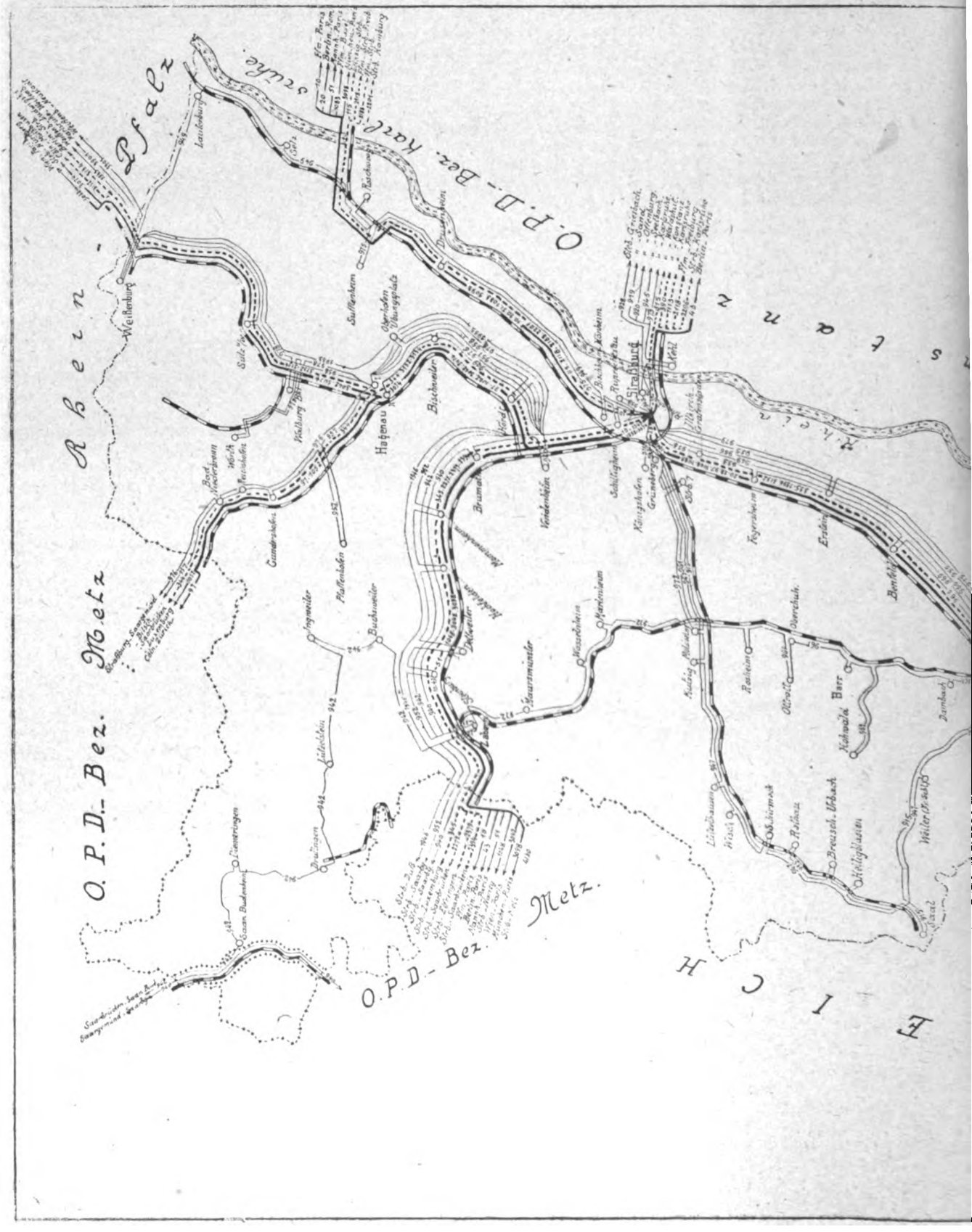
Emplois du carborundum comme abrasif. — Les meules à carborundum formées d'un agglomérant végétal (le plus souvent de la gomme) donnent les mêmes résultats que les meules à émeri de même agglomérant, tandis que celles formées d'un agglomérant céramique permettent des vitesses périphériques beaucoup plus grandes.

Les meules à carborundum sont pour la plupart en aggloméré céramique; les meules en gomme laque et à aggloméré magnésien ne sont pas d'un usage courant. Leur fabrication s'effectue de la façon suivante :

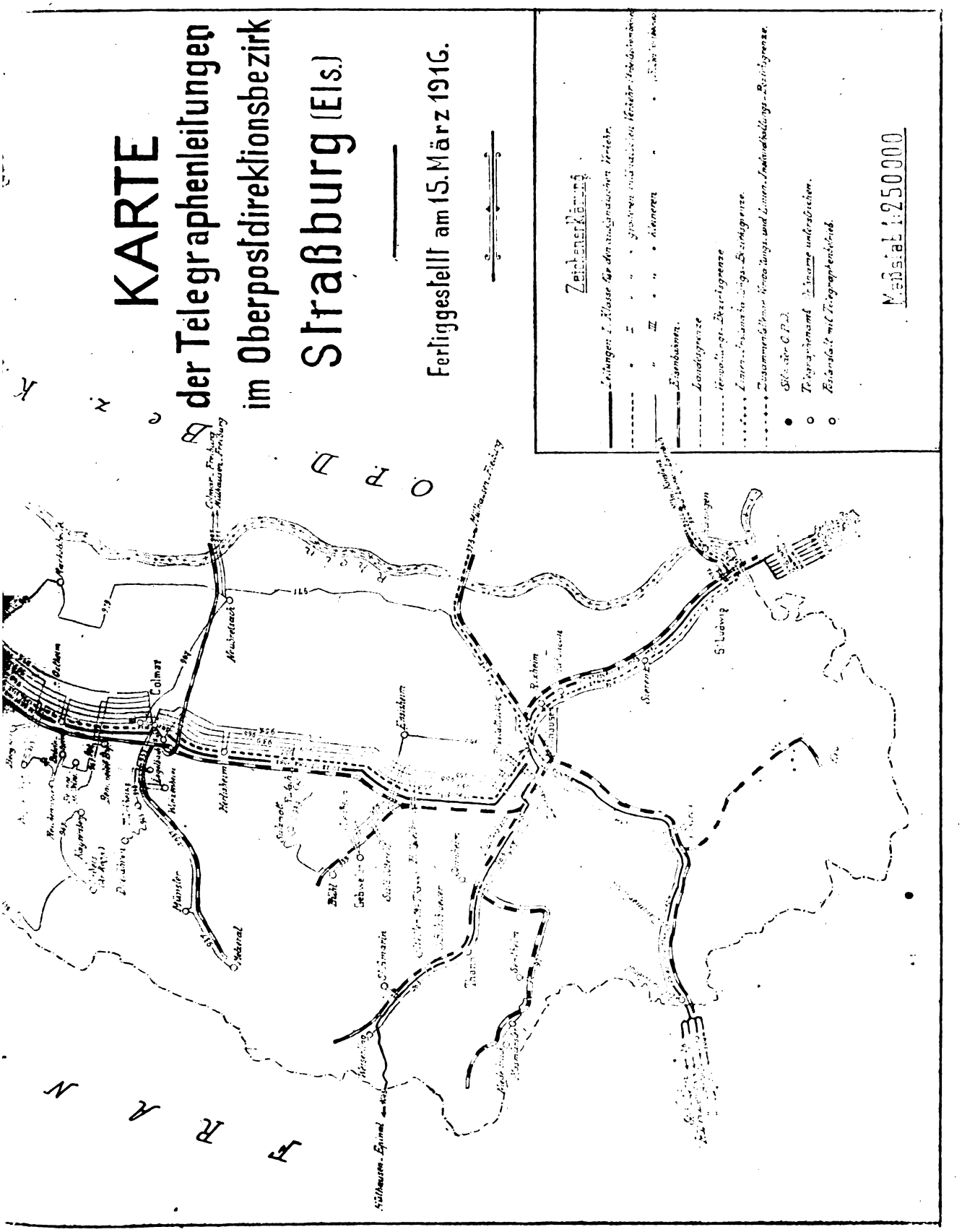
On commence par choisir de la matière dont les grains, soigneusement criblés et lavés, ne contiennent pas d'impuretés, exempts en particulier de fer pouvant provenir des appareils de broyage; puis on ajoute aux cristaux de 25 à 30 pour 100 d'un mélange composé de feldspath et de kaolin en poudre. On mélange le tout à sec, puis on en forme une sorte de pâte très épaisse par addition d'une faible quantité d'eau, et finalement on introduit cette dernière dans des moules en acier pour lui donner la forme voulue.

Au moyen d'une forte presse hydraulique on comprime la masse ainsi préparée et on lui donne l'épaisseur voulue en ajoutant de nouvelles couches, de 5 mm environ, que l'on comprime également, d'abord pour leur donner la cohésion

Digitized by Google



Digitized by Google


KARTE
der Telegraphenleitungen
im Oberpostdirektionsbezirk
Straßburg (Els.)
Fertiggestellt am 15. März 1916.
Zeichenerklärung
Maßstab 1:250000
O. P. D.
Colmar
Neubreisach
Ensisheim
Rixheim
Sierenz
St. Ludwig
Münster
Mekeral
Thann
Gebweiler
Hüthausen-Epinal

nécessaire et ensuite pour rendre la meule homogène. Il faut bien veiller, pendant cette opération, à ne pas dépasser une pression de 140 kg : cm², un excès de pression risquant fort de rompre les cristaux et de diminuer leurs propriétés abrasives.

Les meules ainsi préparées sont placées dans des coffrets en argile réfractaire cuite que l'on dispose les uns au-dessus des autres dans des fours semblables aux fours à porcelaine. Le mélange feldspath-kaolin, se transforme en porcelaine, soudant et cimentant ainsi par l'action de la chaleur, les cristaux de carborundum pris dans sa masse. La température de ces fours est généralement comprise entre 1 300° et 1 400°.

Après refroidissement, les meules sont essayées à la vitesse et à la rupture et rectifiées au besoin avant d'être livrées à l'industrie. Elles sont alors prêtes pour leurs différents usages : dressage du granit, sciage du marbre, polissage des pierres précieuses, etc.

Dallages. — La grande dureté du carborundum permet de l'utiliser pour la fabrication de tous les matériaux destinés à des frottements répétés et capable par conséquent de les user à la longue. En agglomérant ainsi de tout petits cristaux lamellaires de carborundum à des pâtes diverses, il est facile d'obtenir des produits pouvant résister à l'usure d'une façon remarquable. L'application la plus pratique de cette donnée consiste dans la fabrication des dallages, marches, etc., sans cesse frottés et qui, une fois imprégués de carborundum, ont une durée presque illimitée.

Leur fabrication est très simple. On incorpore par pression le carborundum cristallisé ou amorphe aux agglomérants habituellement employés dans la construction : ciment, stuc, verre, porcelaine, métaux fondus, etc. ; l'incrustation peut n'être que superficielle. Ils concurrencent les dallages et carrelages à parties métalliques qui sont d'un prix de revient plus élevé.

Trois marches de cette substance, posées comme essai dans un escalier donnant accès au Métropolitain de Paris n'ont accusé aucune usure après le passage de 14 millions de voyageurs en 415 jours. Les essais d'usure à l'eau et sable mélangés et au sable seul confirment ces résultats par comparaison avec d'autres substances, ainsi que le montrent les chiffres ci-dessous :

	Usure après 4 000 tours.	
	Eau et sable.	Sable seul.
Brique	32 mm	33 mm
Grès	17	23
Carreau céramique	12	11
Granit	8	6
Ciment-carborundum	0	0

Les essais ont été effectués à l'aide d'une meule en fonte recouverte, soit de sable mouillé, soit de sable seul.

Le ciment incrusté de carborundum est très résistant à l'humidité ; son entretien est aussi simple que celui des carreaux de verre.

Emplois comme produit réfractaire. — Au point de vue de son utilisation comme produit réfractaire, le carborundum possède trois qualités importantes : une grande résistance à l'oxydation, une conductibilité calorifique très élevée et une grande résistance à la chaleur. Ce sont là des propriétés importantes par les déductions d'ordre industriel qu'on peut en tirer, par exemple pour établir une enceinte susceptible de se mettre rapidement en équilibre de température tout en ayant un caractère hautement réfractaire.

Wologdine a montré que le coefficient de conductivité, du carborundum, c'est-à-dire la quantité de chaleur, exprimée en calories-gramme, traversant en une seconde 1 cm² de section pour une variation de 1°, avec une température de 1 000° à l'intérieur du four à expérience, est égale à 0,0150. Pour un produit à plombagine (pâte à creuset), il est égal à 0,0145, c'est-à-dire cinq fois environ plus grand que pour les argiles, réfractaires ou non, moyennement cuites à 1 050°.

Cette qualité du carborundum a été mise à profit pour la construction de fours pouvant rendre de grands services dans les laboratoires et l'industrie. M. Baraduc-Muller a réalisé ainsi un four en carborundum qui, par l'emploi du gaz d'éclairage et de l'air sous pression, soit en allure réductrice, soit en allure oxydante, permet d'obtenir des températures très élevées. La courbe d'échauffement de ce four montre que le carborundum se met très rapidement en équilibre de température, sans éclater ni se fendiller. Autrement dit, la montée de température est extrêmement rapide. C'est en effet le seul corps, parmi tous ceux qui ont été essayés (argile, silice, alumine, magnésie), qui ait donné satisfaction, en réalisant ces deux conditions qu'il est extrêmement rare de trouver simultanément dans une même substance : insensibilité aux variations thermiques les plus brusques et les plus étendues et résistance à de hautes températures.

On comprendra la rapidité avec laquelle les parois d'une enceinte exécutée en carborundum pourront se mettre en équilibre de température avec un foyer, comme par exemple les fours à moufle, et on se rendra compte de l'économie de combustible qui en résultera, si on ajoute, au fait de haute conductibilité, celui de pouvoir fabriquer des pièces réfractaires en carborundum d'une épaisseur extrêmement faible. Ainsi on peut couramment exécuter des plaques et dalles plates ou cintrées, de forme carrée, ou de toute autre forme ayant 1 000 mm de côté sous l'épaisseur remarquablement petite de 20 mm seulement. S'il fallait fabriquer les mêmes dalles en argile réfractaire, l'épaisseur à leur donner serait de 100 à 120 mm. Or, si l'on ajoute à ce fait que la conductibilité des argiles est de l'ordre de 0,003, on conçoit sans peine combien grande est l'infériorité des produits réfractaires argileux lorsqu'ils ont aussi à remplir le rôle de conducteur calorifique.

Sur les pièces en carborundum qui sont infusibles, il se manifeste bien aux températures élevées une oxydation superficielle, mais la silice fondue qui apparaît en même temps protège en partie le carborundum sous-jacent contre une oxydation ultérieure plus profonde. Il suffit, chaque fois qu'on atteint la température de 1600° environ, de racler légèrement, après refroidissement, la surface des pièces sur lesquelles la silice s'est formée pour faire disparaître les cloques vitrifiées et faire réapparaître les surfaces de carborundum avec leur netteté première. Une telle garniture est pour ainsi dire inusable ; seule la chambre de combustion d'un four ainsi constitué doit être changée fréquemment par suite de l'oxydation du carborundum et parce qu'elle devient, à la longue, plus sensible aux variations brusques de température.

Le procédé Engels pour la fabrication des briques réfractaires à base de carborundum consiste à l'additionner de terre réfractaire et de silicate de potassium. On obtient ainsi des briques d'une homogénéité parfaite, lesquelles peuvent revêtir les fours rotatifs servant à la fabrication du ciment Portland et autres fours analogues. On arrive aussi à de très bons résultats en enduisant simplement les briques réfractaires ordinaires du mélange précédent rendu

Digitized by Google

suffisamment liquide au moment de la coulée et en constituant une croûte protectrice d'un demi-millimètre environ.

La haute conductibilité calorifique du carborundum a reçu aussi une intéressante application dans la fabrication des *moules* où l'on coule les métaux et notamment l'aluminium en vue de refroidir rapidement le métal coulé : en effet la plupart des métaux deviennent plus denses quand ils coulent dans un moule en carborundum qui enlève rapidement au métal sa chaleur. Dans cette action il se produit évidemment une sorte de trempe partielle qui confère au métal un grain plus fin et plus serré. Les moules en sable, au contraire, étant peu conducteurs de la chaleur ne refroidissent les métaux que lentement et laissent par suite à leurs constituants tout le temps voulu pour cristalliser et s'isoler. Aussi les moulages d'aluminium obtenus par le procédé des moules en carborundum sont-ils plus denses et plus beaux.

La fabrication de ces moules s'opère soit en effectuant à sec le mélange suivant :

Carborundum en poudre fine.....	0,560 kg
Sucre.....	0,340
Argile.....	0,283

On humecte avec assez d'eau pour obtenir une masse plastique à laquelle on donne la forme du moule désiré et que l'on fait cuire ensuite.

En outre des avantages précédents, ces moules présentent celui d'être plus légers que les moules métalliques et de pouvoir être facilement cassés, broyés, réduits en poudre et réagglomérés à nouveau sous des formes différentes.

II. — Corindon, Emeri et Produits dérivés.
(abrasifs alumineux).

Le *corindon* et l'*émeri* naturels sont des abrasifs estimés (dureté 9 de l'échelle de Mohs), mais ils présentent l'inconvénient d'avoir une composition et, par suite, une dureté variables. Les différences observées sont dues aux conditions géologiques variées des gisements suivant les centres d'extraction. Il est par suite, difficile d'assurer la fabrication des meules dans des conditions toujours identiques, à des époques différentes. Le seul remède, à la fois efficace et économique, est donc de substituer aux abrasifs naturels des produits artificiels ayant au moins la même dureté et, en outre, une plus grande homogénéité due à une composition sensiblement constante. C'est le but de la fabrication électrothermique des abrasifs à basse d'*alumine fondue*. Cette substance répond en effet précisément aux diverses conditions d'emploi qui viennent d'être indiquées ; on la fabrique aisément en grandes quantités au four électrique à partir de la *bauxite* et le produit obtenu a reçu des noms différents suivant son origine. C'est ainsi que l'*électrit* est la matière fabriquée par la Société du carborundum dont les usines, en France, sont à La Bathie (Savoie) ; 2000 ch y sont utilisés à la fabrication. La Compagnie Norton fabrique l'*alundum* à raison de 15000 t par an et lui consacre 3600 ch ; ses trois principales usines se trouvent à Worastir et Niagara Falls (Etats-Unis), et à Wesseling (Allemagne) ; elle fabrique elle-même les meules en agglomérés d'alundum. Le *borecarbone* (1) est fabriqué à l'usine du Plan d'Arem (Haute-Garonne). La Compagnie française de l'*aloxite*, filiale de la carborundum Co, a son usine à Sarrancolin (Hautes-Pyrénées) et dispose de 1000 ch environ. Enfin, la Société Diamantinwerk fabrique aux usines de Rheinfelden (Allemagne) l'abrasif appelé *diamantin*. L'*adamite* est un produit similaire.

(1) Ainsi désigné commercialement bien que sa dureté soit bien inférieure à celle du *borure de carbone* et sa composition toute différente.

Fabrication — La fabrication de ces divers produits, qui sont tous à base d'alumine fondue, plus ou moins pure, s'effectue de la manière suivante :

La bauxite, ayant subi à la mine un premier triage suivi de lavage, parvient à l'usine où elle est concassée, triée à la main, broyée et même parfois lavée de nouveau. Elle est soumise ensuite à une calcination ayant pour but de chasser l'humidité et l'eau de constitution qu'elle renferme.

Cette opération s'effectue généralement dans un four rotatif incliné légèrement sur son axe ; le chauffage est assuré soit par gazogène soit par pulvérisation de charbon ; le premier moyen est préférable, au point de vue de la pureté du produit calciné. La bauxite est introduite d'une façon continue à l'extrémité supérieure du four et descend lentement jusqu'à l'orifice inférieur. Une température de 800° à 1000° suffit pour obtenir un produit ne titrant pas plus de 1 pour 100 d'eau.

La charge introduite dans le four électrique (bauxite calcinée, additionnée ou non de charbon et d'autres matières) varie suivant les usines et même, pour chaque usine, selon la nature du produit à obtenir. Dans beaucoup de cas, on cherche en effet à modifier dans un sens déterminé, les propriétés abrasives du corindon en ajoutant au lit de fusion certaines substances ; les principales sont la magnésie, l'oxyde de fer, la silice, l'oxyde de titane, la glucine et l'anhydride borique.

Les fours électriques de fabrication peuvent fonctionner de deux façons différentes : par *coulée* ou par *pains*. A chacun de ces modes correspondent des types de fours différents.

Dans la *marche par coulée*, on emploie de préférence des fours à sole conductrice, dans lesquels le courant passe à travers la charge de l'électrode supérieure mobile à la sole qui constitue la seconde électrode. Ces fours peuvent être fixes et munis d'un trou de coulée placé au niveau de la sole. Lorsque la cuve du four contient une quantité suffisante de produit fondu, on débouche le trou de coulée ; le corindon liquide s'écoule alors dans une lingotière.

Le travail par coulée avec un four fixe est cependant défectueux, car le débouchage du trou de coulée par perçage au burin de l'alumine solidifiée est extrêmement pénible et finit même par devenir impossible, étant donné sa grande dureté ; le perçage électrique ne peut pas *non plus* être employé en raison de la trop faible conductibilité de l'alumine.

Il vaut mieux se servir d'un four du type basculant, muni d'un bec supérieur de coulée, analogue en somme au four à acier Héroult ; on coule le corindon liquide en inclinant suffisamment le four.

La fabrication du corindon par coulée a cependant été à peu près délaissée, car le refroidissement brusque résultant de la coulée produit une trempe du corindon qui devient ainsi beaucoup trop fragile.

Dans la *fabrication par pains*, généralement adoptée aujourd'hui, on laisse le four se remplir complètement, en soulevant progressivement les électrodes à mesure que la couche d'alumine fondue augmente d'épaisseur. Lorsque la cuve est pleine, on abandonne au refroidissement lent le pain de corindon que l'on extrait ensuite ; une chambre annulaire forme récupérateur de chaleur.

Le *four Higgins* est spécialement étudié en vue de la

Digitized by Google

fabrication du corindon en pains. Sur une sole réfractaire est posée une enveloppe en tôle de fer, de forme tronconique, ouverte à ses deux bases. On a prévu un dispositif de refroidissement par ruissellement d'eau sur la paroi extérieure du four. Celui-ci est du type à électrodes verticales en série, suspendues au-dessus de la charge ; le courant arrive par une électrode et sort par l'autre, après avoir formé deux arcs avec la matière à traiter. Il existe un type de four Higgins, à cuve rectangulaire et double dispositif de ruissellement d'eau.

Le four à corindon de la « Carborundum C° » est à peu près analogue au précédent ; la différence essentielle réside dans le fonctionnement du four. Les deux électrodes en série plongent ici dans le corindon liquide qui constitue la résistance de chauffage ; il n'y a pas d'arc.

Dès qu'un four est plein de corindon, on lève les électrodes et on retire la cuve qui est généralement montée sur roues. On la remplace aussitôt par une cuve vide, de façon à reprendre la fabrication aussi rapidement que possible et à diminuer l'usure des électrodes par combustion au contact de l'air.

Lorsque le pain est froid, on le sort de la cuve et on le nettoie soigneusement. On fait d'abord sauter le disque d'alliage qui forme le culot du pain ; en outre, on enlève soit à la hachette, soit au burin pneumatique, la croûte périphérique de matières non transformées. On débite ensuite, en blocs plus petits, à l'aide d'un casse-fonte, la masselotte de corindon dont le poids atteint parfois plusieurs tonnes. Les débris passent alors dans de robustes broyeurs à mâchoires qui les réduisent en une poudre grossière. Le produit subit enfin divers traitements, dont un lavage à l'eau ou à certains agents chimiques. Un tamisage mécanique sépare et classe la matière, d'après la grosseur du grain, en diverses catégories de poudres, qui sont transformées en meules, pierres à aiguiser, toiles à polir, etc.

Dans les usines où la fusion réductrice de la bauxite, en présence d'une certaine quantité de carbone, reste le procédé fondamental ou tout au moins le traitement initial, certaines précautions doivent être prises en vue de l'obtention d'un corindon de bonne qualité. C'est ainsi que l'affinage réducteur a l'inconvénient de provoquer la formation d'une petite quantité de carbure d'aluminium qui passe dans l'alumine fondue. Or, ce carbure jouit de la propriété d'être, comme le carbure de calcium, décomposé par l'eau et l'humidité de l'air ; le corindon artificiel risquerait donc de se déliter et de tomber spontanément en poussière.

Pour remédier à cet inconvénient, certaines usines fondent simplement la bauxite naturelle ou une bauxite modifiée ayant exactement la composition requise pour l'abrasif. La fusion s'effectue sans affinage en s'efforçant même d'éviter la réduction par le carbone des électrodes. Ce procédé s'applique en remplaçant les électrodes ordinaires par des électrodes en graphite, moins oxydables, et en chargeant bas, à fleurs d'arc, de manière à fondre la bauxite aussi rapidement que possible. Mais le produit obtenu dans ces conditions renferme encore de petites quantités de carbure d'aluminium, qu'il faut détruire. Après concassage et broyage, on soumet pour cela le corindon, soit à un grillage oxydant, soit à l'action d'une solution alcaline, soit à un chauffage à 1 200° avec du chlorure de sodium.

Les blocs de corindon fondu contiennent toujours des grains d'alliage qui restent disséminés dans la masse ; on doit donc faire subir au produit un triage pour le débarrasser de ces inclusions métalliques. On effectue de même une séparation électromagnétique de la limaille de fer, dont l'introduction est due à l'usure des broyeurs.

Suivant le système de four utilisé et la marche de la fabrication, le rendement varie dans d'assez larges limites. C'est ainsi que, d'après M. Flasin, la production est voisine de 4 t de matière fondue par cheval-électrique-an si l'on se contente de la fusion pure et simple du minerai ; elle n'est que de 2,5 à 3 t dans le cas d'un affinage réducteur avancé.

Il existe d'autres procédés électrothermiques relatifs à l'obtention d'alumine plus ou moins pure. C'est ainsi que la « Société des produits abrasifs et alumineux de Provence » fabrique l'*alumine anhydre fondue* en partant de la bauxite rouge contenant au moins 18 pour 100 de fer. La chauffe se fait en deux phases : dans la première, la température n'est poussée que jusqu'à 1 200° environ et, dans la seconde, jusqu'à 1 800°. Le mélange initial comprend :

Bauxite	1 300 kg
Coke	800

Dans un autre procédé on emploie le mélange suivant :

Bauxite	760 kg
Coke	700
Fondant	90

Le fondant est du carbonate de calcium, de la potasse ou de la soude. Les matières premières, intimement mélangées, sont disposées en couches alternées de manière à faciliter les réactions et l'obtention d'un produit très homogène.

Dans le procédé Hasslacher, on se contente d'augmenter la dureté et par suite la pureté de l'émeri ordinaire en le fondant dans un four à résistance (fig. 5) analogue au four Acheson. La charge comprend donc uniquement des morceaux d'émeri de grosseur moyenne disposés autour des électrodes. Celles-ci sont réunies par une sorte de canal rempli de coke et formant résistance de chauffe. Une fois fondue, la matière se rassemble à la partie inférieure de l'appareil où est ménagée une ouverture pour la coulée. Le produit définitif est une sorte de corindon, beaucoup plus dur que l'émeri et employé à cause de sa richesse en alumine.

Utilisation. — La plupart des diverses substances dont il vient d'être question sont utilisées, non seulement comme *abrasifs*, mais aussi comme *matières réfractaires*. C'est le cas notamment de la variété *alundum* dont les emplois dans l'industrie chimique sont très variés.

Utilisation industrielle. — Il existe deux formes d'alundum : l'une, blanche et cristalline, contient moins de 1 pour 100 d'impuretés ; l'autre, d'un rouge brun et vitreux, en renferme de 6 à 8 pour 100 consistant généralement en oxyde de fer et de titane, et en silice. Le produit pur et blanc fond entre 2 050° et 2 100° ; le produit brun possède un point de fusion de 500° environ moins élevé. Le coefficient de dilatation linéaire est de 0,0000078 pour la variété blanche est de 0,0000085 pour la variété brune. La conductibilité calorifique est environ double de celle de la porcelaine et trois à quatre fois plus forte que celle des argiles les plus réfractaires. La dureté dépasse 9, mais n'atteint pas 10. Le poids spécifique varie de 3,93 et 4.

Les deux variétés sont inattaquables aux acides et aux alcalis ; les carbonates alcalins en fusion n'exercent qu'une action tout à fait superficielle. Les scories basiques ou acides amènent une dissolution très lente ; les scories acides sont celles dont l'attaque est la plus nette.

Des expériences ont été faites sur l'emploi des briques d'alundum pour le revêtement des fours. Un four Héroult,

Digitized by Google

dans une usine du Niagara, fut essayé pendant six mois avec sa chambre intérieure en brique d'alundum; le revêtement est resté en bon état pendant toute cette durée de service. Les températures atteintes sont nettement plus élevées que que dans les fours à acier, et telles qu'un revêtement de silice est hors d'usage en cinq à six heures.

En ce qui concerne l'attaque des objets en alundum par les réactifs ordinaires des laboratoires, on constate qu'un premier traitement à l'acide sulfurique et à l'acide chlorhydrique produit une légère perte de poids, mais jamais plus de 0,02 à 0,03 pour 100; un traitement plus prolongé est sans action. On ne saurait donc trop recommander de soumettre d'abord à ce premier traitement acide les objets neufs en alundum.

La température de ramollissement de l'alundum est d'environ 100° inférieure à sa température de fusion. Les objets agglomérés résistent à 1950°, mais peuvent être, à cette température, déformés par pression. Les essais de fusion effectués à ce sujet ont eu des résultats assez variables; les difficultés de l'opération n'ont permis d'obtenir par coulée que des formes très simples.

La méthode d'emploi qui est, apparue comme la plus facile consiste à mélanger les grains broyés avec un agent agglomérant, de nature réfractaire et céramique, à mouler les pièces désirées à la façon des potiers et à les cuire dans un four de porcelaine. Les objets obtenus sont plus réfractaires que l'agglomérant employé et même, dans la plupart des cas, plus réfractaires que l'alumine amorphe. Il en est d'ailleurs de même du produit non aggloméré, mais en poudre fine, et c'est là un fait que la chimie physique devra expliquer. La quantité d'agglomérant varie suivant les cas, mais jamais la température de fusion ne descend au-dessous de 1950°.

Les autres propriétés ne sont que peu modifiées. Ainsi le coefficient de dilatation, dans les objets agglomérés les plus réfractaires, est de 0,0000059. La conductibilité calorique est environ deux fois celle de la porcelaine. La résistance mécanique est élevée, même à haute température. Les variations de résistance électrique avec la température donnent, d'après De Kay-Thompson, les résultats suivants :

A	353°C.....	476	× 10^4 ohms
	721°C.....	49	× 10^4
	908°C.....	24	× 10^5
	1 040°C.....	7,5	× 10^5

Les moufles d'alundum se distinguent par leur haute conductibilité calorifique et leur point de fusion élevé. Leur durée est de quatre à cinq fois plus longue, dans les fours à gaz, que celle des moufles ordinaires en terre réfractaire. Ils se prêtent particulièrement bien à la chauffe électrique par enroulement, telle qu'elle se pratique dans les fours de laboratoire. Ils ont l'avantage sur le quartz d'être plus réfractaires et plus solides. En revanche, ils sont poreux et ne peuvent être utilisés pour les fours qui doivent être imperméables aux gaz.

Les tubes d'alundum sont semblables aux moufles et ont trouvé des applications analogues; ils sont également poreux, mais peuvent cependant servir de tubes de protection pour les pyromètres.

Il existe divers types de creusets d'alundun qui sont, eux aussi, poreux. Ils ne peuvent servir, comme on l'a vu, si l'on a des scories ou des sels capables de produire une attaque, mais les métaux, y compris le platine, peuvent y être fondus sans inconvénient. L'excessive porosité elle-même de ces objets a pu être utilisée dans les laboratoires. On peut réaliser ainsi des creusets réalisant toutes les conditions de fonctionnement des creusets filtrant sans l'inconvénient d'avoir à préparer la pâte d'amiante; la porosité peut être de telle nature que les substances les plus finement divisées soient retenues. Le graphite lui-même peut être entièrement séparé du milieu où il se trouve en suspension. On fait également de grandes plaques filtrantes d'alundum qui sont utilisées pour les préparations organiques et la bactériologie.

Les vases d'extraction en alundum peuvent se nettoyer par simple calcination et servir un grand nombre de fois. Enfin, on peut employer des nacelles de combustion en alundun, en raison de leur bonne conductibilité calorifique, de leur solidité mécanique et de leur inattaquabilité chimique.

Les revêtements d'alundum ont été aussi appliqués avec succès, pour garnir l'intérieur de creusets ou de fours pour hautes températures. Ce revêtement ne fond ni ne se combine au carbone à 1750°; on emploie ainsi des creusets garnis d'alundum, de taille beaucoup supérieure à celle des creusets que l'on pourrait réaliser entièrement en alundum.

III. — Produits divers.

Bore. — Le bore cristallisé ou adamantin de Deville était obtenu par la réduction de l'anhydride borique fondu à l'aide de l'aluminium dans un creuset de charbon; il était très dur, de couleur jaune miel et consistait en un mélange de bore (89 pour 100), de carbone (4,2 pour 100) et d'aluminium (6,7 pour 100). C'était donc, comme le précédent, un produit très impur.

Moissan a montré que la réaction la plus apte à donner du bore à l'état pur est la réduction de l'anhydride borique par le magnésium. En fondant le produit obtenu avec 50 fois son poids d'anhydride borique, on obtient un corps riche à 98 pour 100 de bore; il est amorphe et de teinte brun clair. La réaction est la suivante :

$$2B^2O^3 + 3Mg = B^2O^3,3MgO + 2B,$$

soit, en poids, 140 parties d'anhydride borique pour 72 de magnésium.

La connaissance exacte des propriétés du bore et de ses principaux composés définis a permis cependant à Weintraub de mettre au point un procédé tout à fait industriel de préparation de cet élément à l'état pur. La réaction initiale est la même que la précédente, c'est-à-dire celle qui a lieu, à haute température, entre l'anhydride borique et le magnésium. Dans certaines conditions, on obtient du sous-oxyde de bore, dans d'autres, un mélange de bore et de borure de magnésium. Ces deux produits de la réaction, sous-oxyde de bore et bore mélangé de borure de magnésium, peuvent servir de point de départ pour la préparation du bore pur.

Ces composés sont, en effet, dissociables et, quelle que soit l'impureté, elle se sépare du bore quand celui-ci, impur, est chauffé à une température voisine de son point de fusion (2300°). La principale difficulté est de réaliser cette température élevée sans emploi de charbon sous n'importe quelle forme; cela en raison de la grande affinité des deux éléments, bore et carbone, à haute température, avec formation de borure de carbone. Le bore décompose, en outre, tous les gaz contenant du carbone.

Comme métaux pouvant servir d'électrodes, seuls, le cuivre et le mercure sont utilisables, car ils n'entrent pas en combinaison avec le bore. Il convient en outre d'opérer dans un gaz inerte. L'opération s'effectue de la façon suivante :

On réalise la dissociation par un arc à haute tension

Digitized by Google

(15 000 v) jaillissant entre deux électrodes de cuivre refroidies par l'eau. Le sous-oxyde de bore est placé dans une coupe de cuivre masssif formant une électrode ; l'autre électrode, cylindrique, arrive au-dessus. L'arc se produit dans une enceinte close remplie d'hydrogène.

Le bore pur est analogue d'aspect au diamant noir. Il peut prendre un beau poli et possède une dureté qui ne le cède qu'au diamant (9,5 de l'échelle de Mohs) ; aussi peut-il être avantageusement utilisé comme abrasif. C'est le premier corps préparé artificiellement qui présente à la fois une grande dureté et une structure amorphe ; sa cassure est conchoïdale. Son point d'ébulition est à peine supérieur à sa température de fusion (2 300°). On l'emploie pour la fabrication des pierres de compteurs électrique et, plus généralement, pour tous les pivotages des appareils de mesure. Il se montre en cela supérieur au saphir en raison de l'absence complète de structure microcristalline. On sait que c'est là le défaut des compteurs à courants alternatifs ; les vibrations auxquelles ils sont soumis font que les pivots d'acier dur finissent par avoir raison de la pierre qui les supporte.

On s'est demandé s'il ne serait pas possible de faire du bore un succédané du diamant noir dans ses applications au forage ; son faible prix de revient le rend propre à cet emploi ; malgré cela, en raison de sa constitution physique, il s'use assez vite à la meule de carborundum même lorsqu'il est pur.

Borure de carbone. — Ce composé, BO^6C, est actuellement la seule substance dont la dureté surpasse celle du diamant. Il peut en effet tailler avec facilité des facettes sur un diamant de peu de dureté. Il est donc encore plus dur que le carborundum. *C'est le plus dur de tous les corps connus* (1).

Le borure de carbone peut être préparé avec facilité au four électrique en chauffant dans un creuset de charbon un mélange de bore amorphe, de charbon. En employant un courant de 250 à 300 A sous 70 v, on obtient une masse noire qui, par refroidissement, donne une cassure brillante : cette substance, après plusieurs lavages aux acides et à l'eau et une dessiccation soignée, fournit du borure de carbone.

On peut également préparer ce corps par dissolution du mélange précédent dans le cuivre, métal ne formant pas de combinaisons déterminées avec le bore et conduisant toujours à d'excellents résultats. Le mélange intime de bore et de carbone est disposé dans un creuset ou dans un four à résistance chauffé par un courant de 350 A sous 70 v et contenant une quantité suffisante de limaille de cuivre. On obtient après l'opération un borure de carbone très bien cristallisé et très brillant.

La préparation du borure de carbone par dissolution d'un mélange de bore et de carbone dans du borure de fer donne aussi de bons résultats.

En effet, lorsqu'on ajoute à du fer un excès de bore et de carbone et que l'on chauffe le tout au four électrique, il se forme un culot à cassure très brillante qui, attaqué par l'eau régale, laisse un résidu presque uniquement constitué par du borure de carbone ; les cristaux ne sont pas très nets dans ce cas et leur analyse conduit à la formule BO^6C.

Le bore amorphe étant assez difficile à préparer, on peut, suivant le procédé Tucker et Bliss, obtenir du borure de carbone en partant de l'acide borique et en opérant dans un four en charbon ou en graphite. Le seul point délicat du procédé est d'empêcher l'anhydride borique de se volatiliser ; on y arrive en disposant à la partie inférieure du four une couche de coke de pétrole et en introduisant l'acide borique pulvérisé dans un canal vertical creusé dans l'électrode amenant le courant à l'appareil.

Le borure de carbone possède une grande stabilité, le chlore l'attaque vers 1 000° ; mais le brome et l'iode sont sans action sur lui ; il brûle lentement dans l'oxygène à cette température en fournissant de l'acide carbonique et un résidu noir d'acide borique fondu. Il est inattaquable par tous les acides. Au rouge sombre, la potasse en fusion l'attaque de même qu'un mélange fondu de carbonates de sodium et de potassium.

Pour l'utiliser industriellement, il suffit de le réduire en poudre fine, de le mélanger avec un peu d'huile et de le disposer sur des meules d'acier. Il peut alors servir à toutes sortes d'usages et en particulier à la taille du diamant. Il est, en effet, très friable et donne des poudres impalpables quoique cristallines.

Monox. — On donne le nom de monox à un composé de synthèse formé de protoxyde de silicium, d'où son nom (monoxyde), et répondant à la formule SiO. Il se fabrique au four électrique en portant à la haute température de l'arc un mélange de sable et de coke ou de sable et de carborundum. On a alors l'une des deux réactions suivantes :

$$SiO^2 + C = SiO + CO,$$

ou

$$2\,SiO^2 + CSi = 3\,SiO + CO.$$

L'appareil qui sert à cette fabrication (fig. 5) se compose d'un récipient cylindrique en fonte B, garni intérieurement

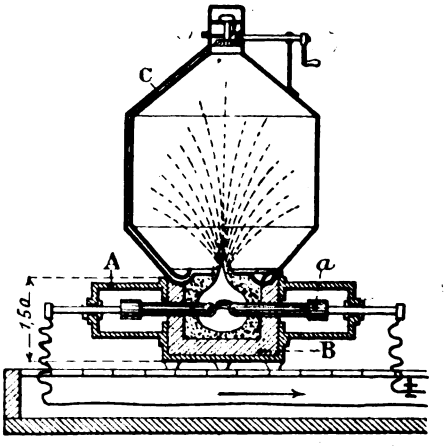


Fig. 5. — Four électrique pour la fabrication du protoxyde de silicium.

de briques réfractaires. Deux électrodes de graphite a glissent à frottement dur dans les boites A dans lesquelles circule continuellement de l'eau froide. Au-dessus du récipient B, se trouve une chambre de condensation C au fond de laquelle un certain nombre de raclettes sont mises en mouvement ; elles sont destinées à faire tomber le protoxyde de silicium déposé sur ses parois. Afin d'activer la marche de l'opération, on fait partiellement le vide dans la chambre C et on la refroidit extérieurement par une circulation d'eau froide ; cette dernière action a pour but d'abaisser brusquement la température du protoxyde de silicium

(1) Le borure de carbone ne doit pas être confondu avec le *boro-carbone*, produit commercial à base d'alumine artificielle et qui ne possède ni ses propriétés ni surtout sa dureté.

Digitized by Google

dès qu'il se forme, car un peu au-dessus de sa température de formation il se dissocie en silicium et en silice.

Pour mettre en marche l'opération, c'est-à-dire amorcer l'arc, on commence par tasser le mélange des matières premières sur le pourtour intérieur du récipient B ; puis on enfonce, un peu au-dessus du centre et dans la charge elle-même, un anneau de graphite ayant environ 18 cm de diamètre ; on extrait enfin une partie de la charge qui a pénétré dans son intérieur. Dès que l'arc se forme, la réaction a lieu ; il se dégage du protoxyde de silicium et de l'oxyde de carbone qui s'échappent tous deux par l'ouverture supérieure du récipient B. Le protoxyde de silicium se condense peu à peu sur les parois de la chambre C et, quand toute la charge a été transformée, on arrête le four, on rapproche les électrodes a, on recueille le produit déposé et l'on recommence une nouvelle opération. Celle-ci diffère simplement de la première par ce fait qu'il n'est plus besoin, cette fois, d'employer un anneau de graphite pour amorcer l'arc.

En outre de ses propriétés abrasives, le monox se signale par sa grande inaltérabilité à l'air, sa grande plasticité et surtout sa très faible densité apparente ; 1 kg de poudre de monox, non tassée, occupe en effet un volume de 25 litres environ. Sa densité réelle est de 2,24 environ. Il constitue également un très bon calorifuge.

Silichromite. — On a donné ce nom à un produit obtenu en traitant au four électrique un mélange de fer chromé naturel (chromite), de sable (silice) et de charbon. Le fer chromé est un mélange de protoxyde de fer et de sesquioxyde de chrome (FeO, Cr^2O^3) ; il contient en outre une très faible quantité d'alumine et de magnésie. Si l'on ajoute à ce minéral de la silice et du charbon et si l'on soumet ce mélange à la température du four électrique, on obtient une masse fondue à texture cristalline très dure. On la pulvérise cependant assez facilement à l'aide de broyeurs, et la poudre obtenue peut servir à fabriquer des meules et des polissoirs : c'est donc un corps se rapprochant par ses qualités du carborundum.

Aluminate de manganèse. — Ce composé, qui peut être regardé comme un spinellide artificiel, répond à la formule Al^2O^3, MnO. Sa dureté, qui dépasse celle du quartz, et sa facilité de production permettent de l'utiliser comme abrasif bien que nous ne connaissions pas encore son emploi comme tel. On le prépare en chauffant au four électrique un mélange d'alumine et d'oxyde salin de manganèse dans les proportions suivantes :

Alumine	100 parties
Oxyde salin de manganèse	230

On obtient, dans ces conditions, un produit de teinte brun noirâtre à reflets métalliques constitué en majeure partie par des cristaux très brillants de teinte jaunâtre, à pointements octaédriques ; leur densité est de 4,12.

L'aluminate de manganèse est très stable au point de vue chimique dans les conditions normales de température mais les oxydants le désagrègent assez facilement.

Jean Escard,
Ingénieur civil, lauréat de l'Institut.

Revues, analyses et informations

Conception physique du fonctionnement du moteur asynchrone monophasé.

En se basant sur l'hypothèse de deux forces magnétomotrices primaires égales et tournant en sens opposés, combinées avec une force magnétomotrice secondaire tournant à la vitesse du synchronisme, comme celle qui serait produite par une excitation à courant continu, on est conduit à constater, dans le moteur asynchrone monophasé, l'existence d'un champ résultant primaire tournant, tout comme dans le moteur polyphasé, tandis que dans le secondaire il y a deux courants, l'un de basse fréquence correspondant à celui du moteur polyphasé, et l'autre d'une fréquence presque double de la fréquence primaire. On peut ainsi considérer le moteur monophasé comme un cas particulier du moteur polyphasé, ce qui est avantageux, les principes du fonctionnement de cette dernière machine étant très bien connus. C'est la méthode exposée par M. B. G. Lamme dans un mémoire que nous résumerons ici (1).

Considérons d'abord un moteur asynchrone monophasé marchant à vide, à vitesse maxima, son enroulement secondaire polyphasé étant fermé sur lui-même.

Le champ monophasé primaire, qu'on suppose sinusoïdal, peut être considéré comme formé de deux composantes égales, de valeur constante, à répartition sinusoïdale, ayant pour valeur maxima la moitié de celle du champ monophasé, et tournant synchroniquement en sens opposés. L'un de ces champs tourne dans le même sens que le rotor et un peu plus vite que lui ; le glissement du rotor par rapport à ce champ est de même nature que dans le moteur polyphasé ordinaire. Comme la machine est sans charge, le courant secondaire correspondant à ce champ tournant est très faible, n'ayant que l'intensité nécessaire pour surmonter les pertes internes dues au mouvement ; sa fréquence est égale au glissement.

Comme il existe un champ de même valeur tournant en sens inverse, l'enroulement secondaire en rotation le coupe à une fréquence presque double de celle du réseau, il tend donc à engendrer une force électromotrice très élevée, et, l'enroulement étant fermé sur lui-même, des courants de court-circuit circulent, qui tendent à annuler le flux qui les produit. Ce courant secondaire s'élèvera à une valeur telle que son effet magnétisant soit pratiquement égal et opposé à la force magnétomotrice qui produit le champ de marche arrière, de sorte que celui-ci devient presque nul. Il y a donc deux courants secondaires, l'un de valeur très faible et d'une fréquence correspondant à la rotation avant, l'autre d'intensité plus grande et de fréquence presque double de celle du réseau. On reconnaît en effet l'existence de ces courants par l'oscillographe.

Forces magnétomotrices et flux magnétiques. — On voit donc s'introduire dans cette analyse une force contre-magnétomotrice secondaire qui agit sur l'une des composantes du champ primaire et la neutralise pratiquement. Il y a de plus un mélange de forces magnétomotrices et de champs magnétiques, qui peut donner lieu à confusion. Il est évident que l'introduction de la force magnétomotrice secondaire tournant synchroniquement avec la composante arrière du primaire fait naître des caractères nouveaux. On

(1) B. G. Lamme. *Proceedings of the American Inst. of Elect. Eng.*, avril 1918, t. XXXVII, p. 403-434.

Digitized by Google

laissera donc de côté pour un moment le point de vue des deux champs égaux tournant en sens opposés et on étudiera d'abord les forces magnétomotrices et les champs magnétiques qui en résultent.

Considérons deux forces magnétomotrices fondamentales : l'une primaire monophasée, fixe en position et variant sinusoïdalement, et une secondaire, de valeur constante égale à la moitié de la valeur maxima de la primaire, tournant synchroniquement dans un sens et se trouvant en opposition avec la primaire dans la position où les deux coïncident.

Décomposons la force magnétomotrice monophasée primaire en ses deux composantes, égales et tournant en sens opposés ; les résultats seront représentés par les figures 1, 2, 3, 4. Dans la figure 1, C et D représentent les deux com-

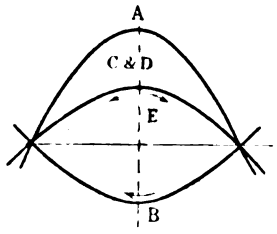


Fig. 1.

posantes dont la résultante est la force magnétomotrice monophasée A. A l'instant choisi, C et D sont de valeur égale et coïncident en position et polarité; B, qui représente la force magnétomotrice secondaire, est aussi égale à la moitié du maximum de A, mais est de polarité opposée. B neutralise donc une des composantes C ou D, et laisse ainsi une résultante égale à la moitié du maximum de A.

Dans la figure 2, la composante D s'est déplacée de 30°

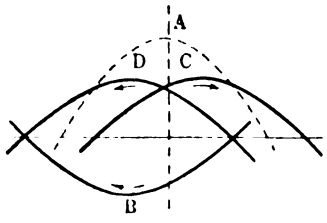


Fig. 2.

vers la gauche, tandis que C s'est déplacée d'un arc égal vers la droite. La force magnétomotrice secondaire B s'est déplacée de 30° vers la gauche, neutralisant ainsi D et ne laissant que la composante C.

Dans la figure 3, D et B se sont déplacées de 60° vers la

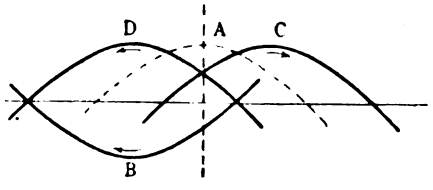


Fig. 3.

gauche, et C de 60° vers la droite. De même, dans la figure 4, B et D se sont déplacées de 90° vers la gauche et C de 90° vers la droite.

On voit donc qu'une force magnétomotrice monophasée, fixe en position et variant suivant une sinusoïde, et une force magnétomotrice constante égale à la moitié du maximum de la précédente et en opposition avec elle au point où elles coïncident en position, et tournant synchroniquement dans un sens ou dans l'autre, donneront une force magnétomotrice résultante constante, tournant dans le sens inverse, mais qui est de même signe que la force magneto-

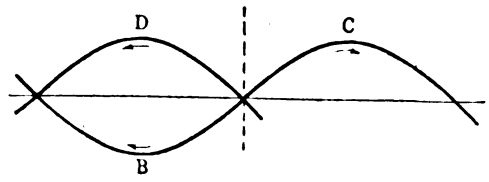


Fig. 4.

motrice monophasée au point de coïncidence. Autrement dit, une force magnétomotrice monophasée, fixe en position, et une force contre-magnétomotrice constante, égale à la moitié du maximum de celle-ci, et tournant dans un sens ou dans l'autre, donneront comme résultante une force magnétomotrice tournante équivalente à celle d'un moteur asynchrone polyphasé.

La force magnétomotrice résultante C pourrait être remplacée par un flux ou champ magnétique, produit par cette force. Si ce champ est représenté à la même échelle que la force magnétomotrice qui le produit, alors C, dans les figures 1 à 4, peut représenter un champ magnétique. Ce champ sera constant en valeur et égal à la moitié du maximum du champ que la force magnétomotrice monophasée, à elle seule, engendrerait.

Ainsi, selon les figures 1, 2, 3, 4, par l'introduction d'une force contre-magnétomotrice, égale en valeur à l'une des composantes de la force monophasée et tournant synchroniquement avec elle, une des deux composantes du champ magnétique peut être supprimée et il ne reste que l'autre, ce qui donne un champ magnétique tournant, comme dans le moteur asynchrone polyphasé.

Il faut maintenant apporter une modification à ce qui précède. La force magnétomotrice primaire étant remplacée par ses deux composantes tournantes, comme dans les figures 1 à 4, introduisons une force contre-magnétomotrice, semblable à B, *mais de valeur moindre que la composante D*: la résultante est alors une force magnétomotrice réduite, de même polarité que D. Il restera alors deux forces magnétomotrices, chacune de valeur constante, l'une égale à la moitié du maximum de A et l'autre de valeur moindre. L'effet de ces forces sera donc d'établir deux champs tournants de *valeur inégale* tournant en sens inverse. Ils sont représentés par les figures 5, 6, 7.

Dans la figure 5, on admet pour B une valeur quelconque moindre que la composante D. La résultante de D et de B

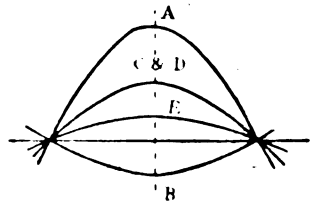


Fig. 5.

est représentée par E. Donc, en cette position, C et E représentent les deux forces magnétomotrices résultantes et les deux champs composants. La figure 6 représente les

Digitized by Google

conditions pour une rotation de 30° à partir de la position précédente et là encore E et C représentent les deux champs. Dans la figure 7, le déplacement est de 60°.

Ainsi, par l'introduction d'une force magnétomotrice d'*opposition*, constante, d'une valeur moindre que celle de chacune des composantes de la monophasée, deux champs

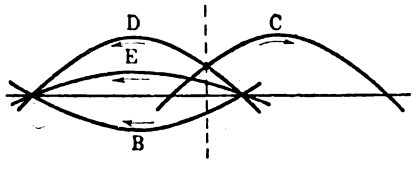


Fig. 6.

d'inégale valeur, tournant en sens inverses, peuvent s'établir. Comme cas extrêmes, si on annule la valeur de la force magnétomotrice d'opposition, le champ magnétique qui correspond à sa position et à sa rotation s'élèvera jusqu'à la valeur totale du champ tournant en sens inverse, et, d'autre part, si on donne à la force magnétomotrice d'opposition, constante, une valeur égale à la moitié du maximum de la monophasée, le champ qui tourne en sens

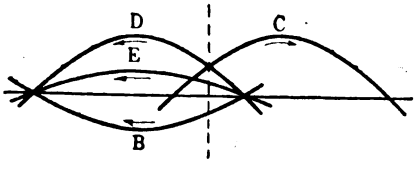


Fig. 7.

inverse devient nul. Ces deux cas sont d'accord avec les premières hypothèses.

Les conditions qu'on vient de considérer : force magnétomotrice primaire monophasée et force magnétomotrice secondaire constante, opposée à celle-ci, qui peut avoir comme valeur la moitié du maximum de la première, ou une valeur moindre quelconque jusqu'à zéro, et qui tourne synchroniquement dans un sens déterminé, engendrant deux champs magnétiques qui peuvent être de valeur égale ou inégale et qui tournent synchroniquement en sens inverses, sont les bases de la conception physique qu'on va décrire du fonctionnement du moteur monophasé.

Il faut observer que, dans la méthode qu'on vient de suivre pour considérer un champ tournant dans le moteur asynchrone monophasé, les deux composantes de la force magnétomotrice primaire et la force magnétomotrice secondaire amortissante *tournent toutes au synchronisme*, et cette rotation est indépendante de la vitesse du noyau secondaire. Dans certaines méthodes employées pour traiter le cas du moteur monophasé, on admet que l'enroulement primaire engendre dans le secondaire une force magnétomotrice qui, par la rotation du noyau, reçoit un déplacement angulaire tel qu'elle engendre un second flux magnétique à angle droit avec le flux primaire, ce qui donne l'équivalent d'un champ magnétique polyphasé. Ce n'est pas cette méthode que l'auteur a suivie ici.

Ce qu'on a dit jusqu'ici ne se rapporte qu'au cas de la marche à vide. Avant de passer à la marche en charge, il faut encore étudier, en marche à vide, la production de la force contre-électromotrice primaire par les champs ci-dessus mentionnés. Rappelons qu'il peut y avoir un seul champ tournant au synchronisme, ou qu'il peut y avoir deux champs composants d'égale valeur tournant en sens inverses, ou qu'il peut y avoir des cas intermédiaires de champs inégaux tournant en sens inverses, selon la valeur de la force contre-magnétomotrice secondaire.

Production de la force contre-électromotrice et courant a vide. — Au sujet de la force contre-électromotrice engendrée dans le primaire, il faut d'abord considérer le cas de deux champs égaux tournant en sens inverses. Si les circuits secondaires sont ouverts, les deux champs composants existent et prennent part à la production de la force contre-électromotrice. Cela est vrai, que le secondaire soit immobile ou qu'il tourne à pleine vitesse. Mais si le secondaire est fermé sur lui-même, alors, quand il marche à vitesse normale, un des champs composants est pratiquement annulé par amortissement et l'autre doit engendrer la force contre-électromotrice primaire tout entière. Ceci s'explique de la façon suivante :

On peut dire d'abord que l'enroulement primaire, en *coupant* ses deux champs composants, engendre la même force électromotrice que celle qui est produite par le champ monophasé à répartition sinusoïdale, variant sinusoïdalement et agissant sur l'enroulement primaire comme sur un transformateur. C'est un exemple simple de l'équivalence des deux méthodes qu'on peut employer pour le calcul des forces électromotrices, celle du transformateur et celle du flux coupé. Dans les figures 8, 9, 10 se voient différentes positions des deux champs tournant en sens inverse et la relation de ces positions avec l'enroulement primaire. Dans la figure 8 on voit le flux ou champ A engendré par un

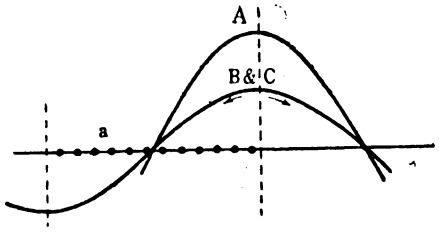


Fig. 8.

enroulement primaire a. Si l'on considère le champ monophasé à sa valeur maximum, les deux champs composants B et C ont à cet instant la moitié de ce maximum et coïncident en position et polarité. La force électromotrice engendrée à cet instant dans l'enroulement est nulle, car la vitesse de variation du flux est nulle. Considérons ensuite le cas de la figure 9 où les deux composantes tournantes se sont

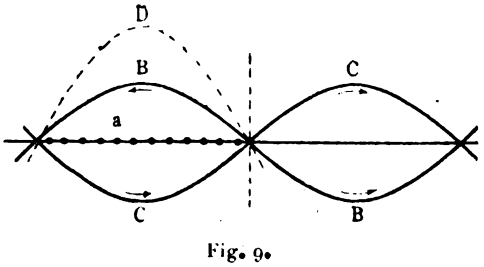


Fig. 9.

déplacées de 90° par rapport à la position précédente. B et C représentent ces deux champs. Il est évident que la résultante de ces deux champs est nulle, c'est-à-dire que le champ monophasé passe par la valeur zéro et engendre par suite la force électromotrice maximum. La figure 10 montre les champs à une position intermédiaire entre celles des figures 8 et 9. Le résultat est le même que si les deux champs étaient momentanément remplacés par le champ D.

Ceci montre que les deux flux composants participent à la génération de la force contre-électromotrice primaire totale, et que si l'un d'eux est diminué ou supprimé, la force contre-électromotrice sera diminuée d'une façon correspon-

Digitized by Google

dante, à moins que l'autre composante ne soit augmentée corrélativement Or, on a vu que dans le moteur asynchrone monophasé, marchant à pleine vitesse à vide, le champ de rotation arrière est pratiquement amorti par le courant secondaire. Le champ de rotation avant restant seul, il faut ou que la force contre-électromotrice soit diminuée de moitié, ou que le flux de rotation avant prenne une valeur double; c'est ce dernier cas qui se réalise. Ce fait signifie à son tour que la force magnétomotrice primaire doit doubler de valeur. Autrement dit, la suppression d'un des deux

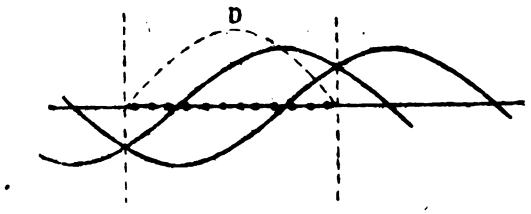


Fig. 10.

champs tournants composants a pour résultat de doubler le courant d'excitation ou courant à vide du moteur. De plus, le doublement de la force magnétomotrice du primaire et par suite le doublement de la composante *avant* du champ double aussi la composante *arrière* qui, à son tour, est annulée par un courant secondaire double. Ce doublement du courant à vide est basé sur l'hypothèse d'une répartition sinusoïdale du flux; il n'est qu'approximatif dans les autres cas.

Ainsi, quand les circuits secondaires sont ouverts, le courant à vide est de valeur constante quelle que soit la vitesse du rotor; quand le moteur marche à vitesse normale, le courant primaire double d'intensité dès qu'on ferme le circuit secondaire. On peut se demander pourquoi, même avec le secondaire fermé, le courant primaire tombe à la moitié de sa valeur à pleine vitesse quand on arrête le moteur. Cela vient de ce que, quand le rotor est immobile, l'action amortissante du courant secondaire s'exerce également sur la composante avant et sur la composante arrière du champ primaire, de sorte qu'elles doivent forcément rester de valeur égale, ce qui, d'après l'étude précédente, ne demande qu'un courant d'excitation moitié, par rapport à celui de la marche à vide à pleine vitesse, cas où le champ arrière est à peu près complètement annulé.

Marche en charge. — Quand le moteur asynchrone monophasé marche en charge, le courant total qu'il absorbe peut être considéré comme formé de deux composantes : le courant à vide (presque entièrement magnétisant) et le courant de charge. Celui-ci n'est pas entièrement watté. Ce courant de charge, étant monophasé, peut se représenter par deux forces magnétomotrices égales tournant en sens inverses dans le primaire du moteur, comme dans le cas du courant à vide. Les champs que ces deux forces magnétomotrices tendent à établir sont tous deux pratiquement annulés par deux forces magnétomotrices équivalentes *secondaires* tournant en sens inverses. La composante secondaire *avant* correspond à la force magnétomotrice du courant de charge secondaire dans le moteur polyphasé, et l'action mutuelle entre cette force magnétomotrice et le champ primaire de rotation avant produit un couple comme dans le moteur polyphasé. Il semblerait à première vue que la composante arrière doive développer un couple de sens opposé, correspondant en valeur à celui d'un moteur polyphasé pour un glissement d'environ 200 pour 100. Mais il n'en est pas ainsi, parce qu'à ce glissement le moteur polyphasé ordinaire absorbe un courant primaire excessif, tendant à établir un intense champ magnétique qui est annulé par une force magnétomotrice secondaire de valeur correspondante. Or, dans le moteur asynchrone monophasé, si l'on considère la force magnétomotrice primaire due au courant de charge, sa composante à rotation arrière doit avoir la même valeur que sa composante à rotation avant. Fait à retenir, car il est très important pour ce qui suit.

Pour représenter les caractéristiques du moteur asynchrone monophasé, on peut le comparer au fonctionnement de deux moteurs asynchrones polyphasés accouplés mécaniquement de façon rigide et reliés au réseau de façon à avoir des sens de rotation opposés. Cependant il n'y a là qu'une similitude générale; les caractères d'un tel groupe et ceux du moteur monophasé peuvent se comparer comme suit :

1° Les caractéristiques vitesse-couple des deux moteurs du groupe polyphasé peuvent être représentées par les courbes A et B (fig. 11) et leur résultante par la courbe C.

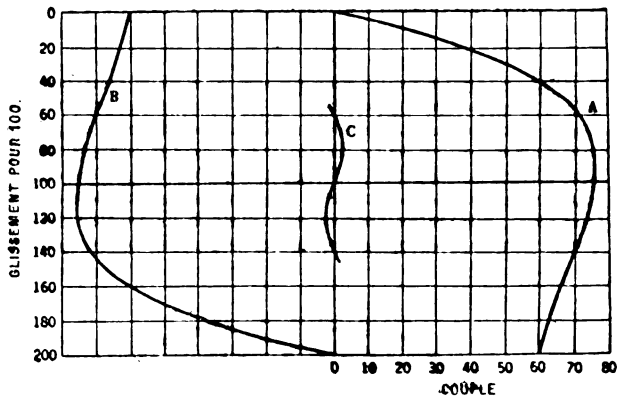


Fig. 11.

Cette dernière montre que le couple résultant est nul au repos, et qu'une légère vitesse initiale dans un sens quelconque donne un couple tendant à accélérer le groupe dans le sens où on l'a démarré. Ceci correspond aux caractères bien connus du moteur monophasé.

2° On voit que le couple maximum développé par le groupe est notablement inférieur à celui de l'un ou l'autre des deux moteurs accouplés. Ce fait correspond bien au fonctionnement du moteur monophasé, comparé à celui de la même machine alimentée en polyphasé.

3° A la pleine vitesse, suivant cette courbe résultante, le glissement pour un couple donné est beaucoup plus grand que celui du moteur polyphasé correspondant. Ceci n'est pas vrai pour le moteur monophasé; c'est une des inexactitudes de cette méthode de comparaison

4° On sait que le couple maximum qu'un moteur polyphasé peut développer, la tension d'alimentation étant constante, est indépendant de la résistance secondaire, tandis que dans le moteur monophasé, en général, l'accroissement de la résistance secondaire fait décroître le couple maximum. On peut le voir en reprenant les courbes de la figure 11 après modification de la résistance secondaire dans les deux moteurs accouplés. Dans la figure 12, la résistance secondaire est augmentée et dans la figure 13 elle est diminuée par rapport à sa valeur de la figure 11. Les courbes résultantes vitesse-couple ainsi obtenues dans ces trois figures montrent que les couples maxima sont notablement affectés par la variation de la résistance secondaire. Il en est de même pour le moteur monophasé.

5° Cette méthode de représentation du couple d'un moteur monophasé se trouve toutefois en défaut quand la résistance secondaire est telle que le couple polyphasé maximum soit développé à un glissement de 100 pour 100 environ. C'est ce que montre la figure 14. On voit d'après cette courbe vitesse-couple que le groupe a un très faible couple résultant, mais il n'en est pas ainsi pour le moteur monophasé, car si un moteur polyphasé donne son couple maximum à 100 pour 100 de glissement, cette même machine, employée

Digitized by Google

en monophasé, donnera un couple maximum très considérable. Il y a là un nouveau désaccord.

6° Dans la figure 15, la courbe D représente la variation du courant en fonction du couple pour les deux moteurs conjugués des figures précédentes. Elle montre nettement la forte inégalité qui existe entre les courants absorbés par les primaires des deux moteurs marchant à vitesse normale. Par exemple, à une vitesse donnée *a*, le courant absorbé par le moteur à rotation avant est *b*, tandis que *c* représente le courant pris par le moteur à rotation arrière. Il est évident que le courant fourni par le réseau, qui est la résultante de *b* et de *c*, est beaucoup plus grand que celui qui est nécessaire pour produire le couple résultant, de sorte que le facteur de puissance d'un tel groupe doit être très bas. Or il n'en est pas ainsi pour le moteur monophasé, où les courants absorbés et les facteurs de puissance ne sont pas très différents de ceux des moteurs polyphasés de même puissance. Il y là une différence radicale entre le moteur monophasé et le groupe imaginé.

7° Une autre différence a trait au courant à vide ou magnétisant. Il est évident que le courant magnétisant total pour les deux moteurs sera deux fois plus grand que pour une seule machine, tandis que le courant magnétisant est pratiquement le même pour un moteur monophasé que pour la machine polyphasée correspondante.

Voici maintenant les modifications que l'auteur propose pour faire disparaître les divergences signalées entre les caractéristiques du groupe et celles du moteur monophasé :

Tout d'abord, les courbes A, B et C de la figure 11 ont été tracées dans l'hypothèse de forces électromotrices égales et constantes appliquées aux bornes des deux moteurs. Cette hypothèse n'est pas correcte, comme on peut le voir d'après les conditions de fonctionnement du moteur monophasé. En étudiant les champs tournants composants, on a vu qu'à vitesse normale la composante arrière était pratiquement annulée par une force magnétomotrice secondaire, et que la composante avant, qui restait seule, doublait à peu près de valeur pour engendrer la force électromotrice nécessaire. Mais, au repos, la vitesse relative de l'enroulement secondaire par rapport aux deux champs est la même,

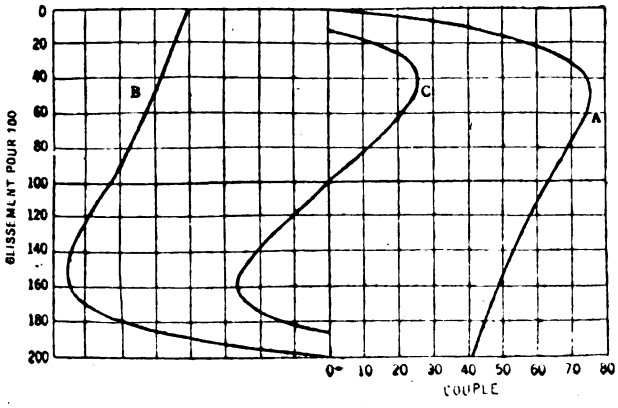


Fig. 12.

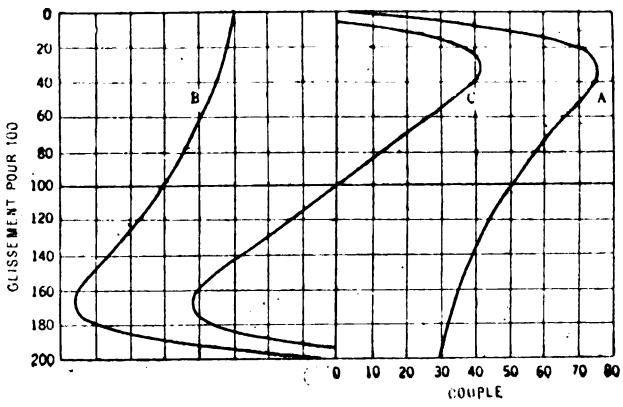


Fig. 14.

donc aucun d'eux ne peut être amorti plus que l'autre. Par suite, au repos, les deux champs composants sont égaux et la force contre-électromotrice du primaire est engendrée par les deux champs de rotation inverse, au lieu de l'être par un seul d'entre eux, de valeur double, comme c'est le cas à vitesse normale. Donc, au repos, le champ de rotation avant n'a que la moitié de la valeur qu'il prend à vitesse normale. Ceci correspond au fonctionnement du moteur polyphasé avec un champ inférieur de moitié à sa valeur normale, c'est-à-dire *avec une tension primaire appliquée réduite de moitié*, ce qui demande un quart des volt-ampères magnétisants. La même condition de tension s'applique aussi à la composante arrière du champ à vitesse nulle.

Il semble donc que, dans le groupe des deux moteurs polyphasés accouplés, la tension appliquée aux bornes du moteur à rotation *avant* devrait avoir environ sa pleine valeur à la vitesse du synchronisme et tomber à demi-valeur au repos ou à un glissement de 100 pour 100, et s'annuler pratiquement à un glissement de 200 pour 100. Admettant donc comme première approximation que la décroissance de la tension depuis la pleine vitesse jusqu'au glissement de 200 pour 100 se fasse suivant la loi de la ligne droite, on peut tracer de nouvelles courbes de la vitesse en fonction du couple, correspondant à celles de la

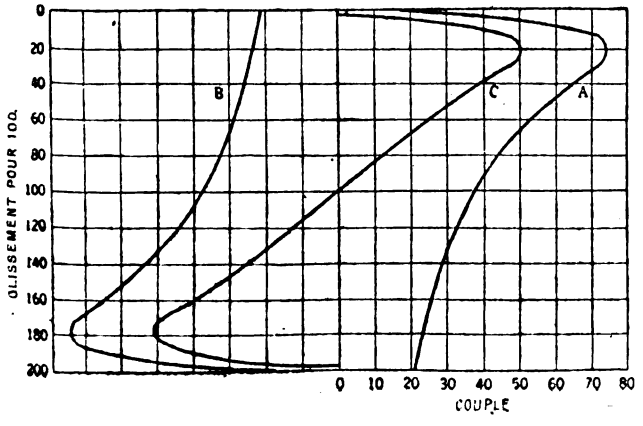


Fig. 13.

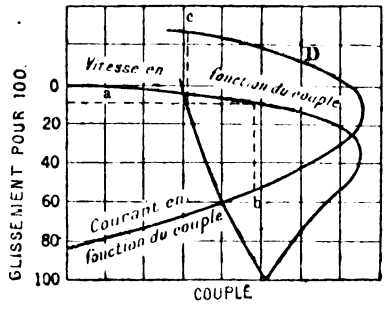


Fig. 15.

Digitized by Google

figure 11, mais avec des couples décroissant comme le carré de la tension ; elles sont représentées figure 16. Les courbes A et B correspondent à celles de la figure 11, tandis que les courbes D et E sont obtenues en tenant compte

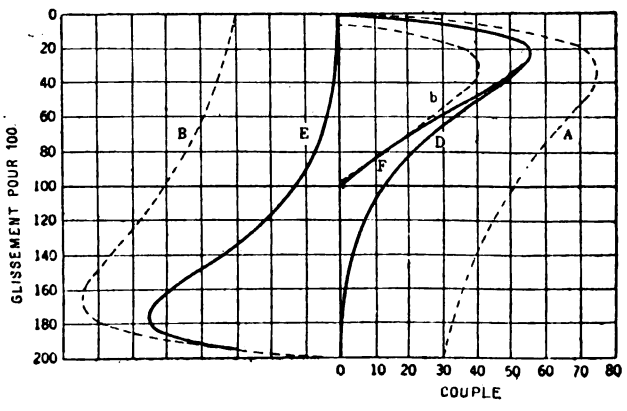


Fig. 16.

des réductions de tension indiquées. La courbe F est la résultante de ces deux dernières courbes. Cette courbe F, quoique analogue dans sa forme générale à la courbe C de la figure 11, a certains caractères tout différents. Aux grandes vitesses, par exemple, elle coïncide de très près avec la courbe vitesse-couple du moteur polyphasé, ce qui est bien le cas pour le moteur monophasé. En second lieu, pour une résistance secondaire élevée, comme dans le cas de la figure 14, les courbes vitesse-couple sont modifiées comme dans la figure 17, qui montre à la fois l'ancienne

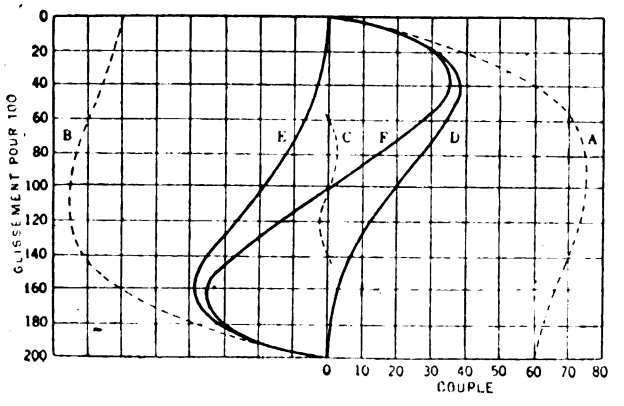


Fig. 17.

caractéristique et la nouvelle. On voit qu'avec la nouvelle hypothèse le couple résultant est notablement plus élevé et se conforme de plus près au cas réel du moteur monophasé.

On a vu que, dans la première hypothèse d'une tension constante pour les deux moteurs, le courant magnétisant serait deux fois plus grand que pour le moteur monophasé. Au contraire, avec la nouvelle hypothèse, à pleine vitesse, avec la tension à peu près totale sur l'un des moteurs et nulle sur l'autre, le courant magnétisant total sera réduit de moitié et aura une valeur à peu près égale à celui d'un seul des moteurs et, par suite, à celui du moteur monophasé.

En outre, avec la nouvelle hypothèse, le courant absorbé par le primaire du moteur à rotation arrière est très faible à grande vitesse et, par conséquent, le courant résultant fourni par le réseau n'est pas excessif, ce qui s'accorde mieux avec le fonctionnement du moteur monophasé.

Ainsi, avec cette condition nouvelle d'une tension d'alimentation décroissant avec la vitesse, on peut reproduire tous les caractères de fonctionnement d'un moteur monophasé, sauf peut-être au point de vue quantitatif. Il y a cependant une autre condition *essentielle à remplir* si l'on veut que les nouvelles courbes soient à peu près exactes : *les courants primaires absorbés par les deux moteurs doivent être égaux*, car, comme on l'a montré au début de cette étude, les composantes tournantes avant et arrière du courant primaire d'un moteur monophasé sont égales à tout instant. Pour reproduire cette condition, il faut que les tensions primaires appliquées aux bornes des deux moteurs reçoivent des variations telles que les courants primaires soient toujours égaux. De plus, la somme des deux tensions appliquées doit être constante, mais ceci n'est qu'une approximation.

Il reste à déterminer quelle est la loi de variation de la tension qui satisfera aux conditions qu'on vient d'énoncer pour le courant et la tension. Un moyen facile consiste à se servir des courbes vitesse-couple et courant-couple du moteur polyphasé à tension constante. D'après la courbe courant-couple à tension constante, on peut tracer facilement des courbes correspondantes pour une autre tension quelconque en faisant varier les abscisses comme le carré de la tension et les ordonnées proportionnellement à la tension. C'est ce que montre la figure 18. A est la courbe vitesse-

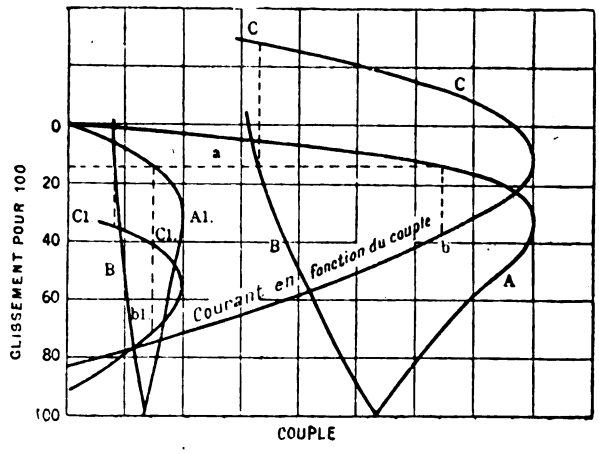


Fig. 18.

couple du moteur polyphasé à tension constante. B représente la partie de cette courbe qui est située au-dessous de la ligne du glissement 100 pour 100, mais reportée au-dessus de cette ligne pour plus de commodité. B peut aussi être considéré comme le couple de marche arrière à pleine tension, mais reporté à droite de la ligne de couple nul pour la commodité. La courbe C représente le courant primaire sous la pleine tension. Donc à une vitesse a, par exemple, les courants primaires correspondant aux couples avant et arrière sont b et c respectivement.

Admettons ensuite que chacun des moteurs reçoive la moitié de la tension; les nouvelles courbes vitesse-couple seront alors A_1 et B_1, où les couples sont réduits proportionnellement au carré de la tension. La nouvelle courbe du courant sera C_1. Les courants pour la vitesse a seront maintenant b_1 et c_1, ou la moitié de b et de c, puisqu'ils sont modifiés comme la tension.

Cette figure 18 ne sert que d'exemple de la variation du courant primaire avec la tension dans le moteur polyphasé et ne représente pas les conditions réelles que nous cherchons, car on y a admis que les réductions de tension étaient les mêmes pour le couple avant et pour le couple

Digitized by Google

arrière. Mais d'après l'étude précédente, ce cas des tensions égales pour les deux sens de rotation ne se réalise que pour le point du glissement 100 pour 100. Pour les autres vitesses, la réduction est inégale pour les deux tensions, la somme de ces tensions restant à peu près constante.

Si, à une vitesse a, on représente par x le taux pour 100 de la réduction de tension pour le couple avant, $1 - x$ représentera la réduction correspondante pour le couple arrière. Soit I_f le courant primaire qui correspond au couple avant pour cette vitesse sous la pleine tension, et I_b le courant pour le couple arrière à la même vitesse et aussi sous la pleine tension. Alors $I_f x$ représentera le courant primaire sous la tension réduite pour la rotation avant, et $I_b (1 - x)$ sera le courant primaire pour la rotation arrière. Une des conditions que doit réaliser le groupe des deux moteurs, pour imiter le fonctionnement du moteur monophasé, c'est que ces deux courants primaires soient égaux. Donc

$$I_f x = I_b (1 - x),$$

et,

$$x = \frac{I_b}{I_f + I_b} \qquad 1 - x = \frac{I_f}{I_f + I_b}.$$

On peut ainsi déterminer le taux pour 100 x de réduction de la tension totale qu'il faut appliquer pour chaque vitesse entre o et le synchronisme, quand on connait les valeurs des courants I_b et I_f pour la tension totale.

L'auteur, pour vérifier les résultats de cette étude, a effectué une série d'essais qu'il décrit. Il a constaté quelques désaccords entre les résultats du calcul et ceux des mesures qui doivent être attribués surtout, d'après lui, à l'échauffement des rotors. Ils ne sont d'ailleurs pas très importants. Aussi l'auteur conclut-il que cette façon d'étudier le fonctionnement du moteur monophasé est rationnelle et en facilite la compréhension. — P. L.

Production et consommation de l'amiante.

L'emploi de l'amiante dans les joints des tuyauteries de vapeur, son utilisation comme calorifuge dans les installations thermiques, quelques autres applications dans le domaine de l'industrie électrique donnent à ce minéral un certain intérêt aux yeux de l'ingénieur électricien. D'une intéressante étude sur l'amiante publiée récemment par MM. H. Schuhler et Max Lambert (1), il nous paraît dès lors utile d'extraire les quelques renseignements qui suivent.

La production mondiale de l'amiante, exprimée en tonnes pour les trois années 1911, 1912 et 1913 est donnée par le tableau ci-dessous.

	1911 tonnes	1912 tonnes	1913 tonnes
Canada : Amiante en fibres....	110 400	112 300	150 000
Poudre d'amiante....	29 000	27 300	27 000
Russie	18 700	20 000	20 300
Etats-Unis	7 830	4 820	1 220
Afrique du Sud (Cap) Natal, Rhodesie)	1 833	2 653	
Chypre	880	940	
Italie	200	200	180
	168 843	168 213	198 700

Comme on le voit, le Canada a fourni à lui seul les neuf dixièmes de la production totale ; en 1888 la production ne dépassait pas 4 000 t ; en 1914 cette production est descendue à 108 000 t ; la roche serpentine d'où on extrait l'amiante ne donnant guère que 6 pour 100 de fibres, cette production représente le traitement d'environ 2 millions de tonnes de minerai. L'amiante du Canada est classée suivant ses qualités marchandes en crude n° 1 qui comprend les fibres longues, crude n° 2, stock n° 1 et stock n° 2.

Après le Canada c'est la Russie qui est le plus grand producteur d'amiante. Les principaux gisements russes se trouvent dans l'Oural et plus particulièrement dans le district d'Ekaterinbourg. Les entreprises de l'Oural n'exploitent que les gisements qui contiennent de 10 à 20 kg d'amiante par mètre cube de roches serpentines, alors que le Canada exploite des gisements à 5 pour 100.

Aux États-Unis, l'amiante se trouve dans des régions peu accessibles. La production a toujours été faible et variable. La Georgie est le seul état qui exploite des gisements d'amiante méthodiquement et depuis de longues années.

L'exploitation dans l'Afrique du Sud est assez irrégulière ; à Chypre, elle se développe plus régulièrement. La production de l'Italie provient de la Valteline où l'on rencontre des fibres très longues et ténues pouvant être lissées à la main.

La consommation mondiale en 1913 s'est répartie comme il suit.

Crude 1re et 2e qualités	1 200 t
Fibres à carton	1 600
Fibrettes pour ciment calorifuge	8 000
Fibrettes pour parquets sans joints	5 000
Fibrettes pour ardoises et ciment Portland	15 000
Amiante russe	700
Amiante du Cap	250
	31 750 t

Les Etats-Unis absorbent donc 60 pour 100 de l'ensemble ; la France, 20 pour 100. Le détail de la consommation française est, d'après la Société française de l'amiante, le suivant :

Etats-Unis	106 200 t
France	32 .00
Allemagne	13 000
Angleterre	11 750
Suisse,	600
Norvège	625
Danemark	500
Suède	400
Pays-Bas	250
	165 325 t

Bien que l'Allemagne ne se trouve qu'au troisième rang, c'est une maison allemande, la maison Becker et Haag de Berlin qui menait, avant la guerre, le marché de l'amiante. Depuis plusieurs années, cette maison avait monopolisé la production des mines russes, canadiennes et sud-africaines. Pour maintenir son monopole au cours de la guerre, elle installa des succursales à New-York, à Rotterdam et à Zurich et, sous le couvert de ces nationalités neutres, elle put passer plus aisément des marchés. Mais en 1916 son trafic fut découvert et l'interdiction d'exportation du gouvernement russe, en même temps que l'embargo mis par l'Angleterre sur l'amiante du Canada, ne lui permit plus de ravitailler l'Allemagne.

(1) *L'Information* (supplément économique et financier), mercredi 15 janvier 1919.

Digitized by Google

Notes pratiques

Fer à souder électrique à arc. — Pour tous les petits travaux de soudage : fabrication d'instruments de mesure, d'optique, photographie, téléphonie, etc., les fers à souder électriques à éléments chauffants rhéostatiques en alliage nickel-chrome et les fers à chauffage indirect par induction sont d'un emploi général et donnent toute satisfaction au sujet de leur fonctionnement, de la facilité du travail et de l'économie.

Pour le travail courant des ferblantiers et tous les gros travaux de soudage ces types d'appareils deviennent très encombrants.

Nous employons dans ces cas un fer à souder à chauffage par arc très simple et très maniable représenté par les figures 1 et 2.

Le bloc de cuivre de la forme d'un fer à souder ordinaire présente une cavité dans laquelle peut descendre une baguette de charbon. Une bague en porcelaine isole électriquement le charbon de la masse de cuivre et chacune de ces deux pièces communique par un câble souple traversant le manche de l'appareil à une prise de courant. Un rhéostat ou une bobine de self induction à noyau de fer, suivant la nature du courant est intercalé dans le circuit pour limiter le courant et fournir à l'arc une caractéristique convenable.

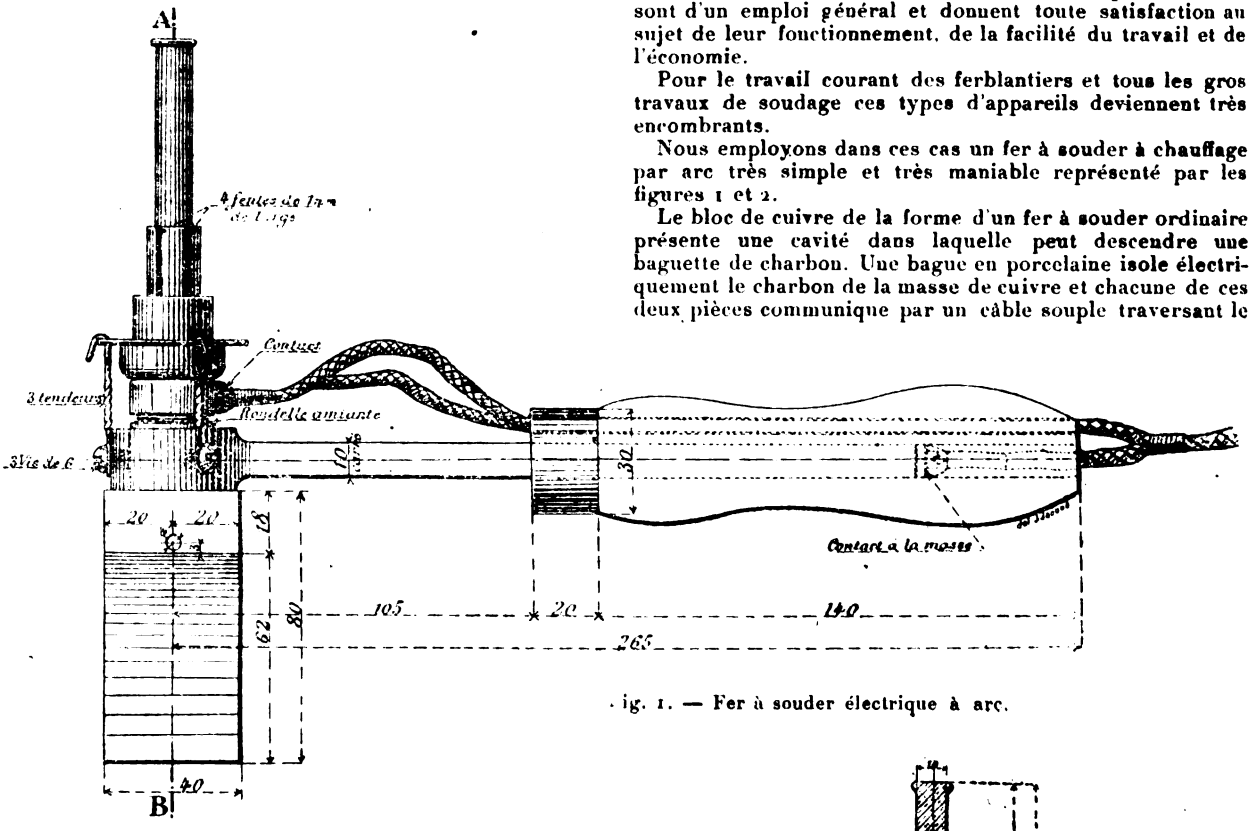


Fig. 1. — Fer à souder électrique à arc.

Pour se servir de l'appareil, on amène le charbon, en poussant le porte-charbon, en contact avec le cuivre dans le fond de la cavité, puis on le retire de quelques millimètres. L'arc jaillit et se maintient très stable. Un petit trou percé à la base de la cavité du fer peut servir à l'échappement des gaz et permet à l'ouvrier de suivre le fonctionnement de l'arc. S'il s'éteint par suite de l'usure du charbon, il le réallume comme nous venons de l'indiquer ; si au contraire, par suite des chocs sur le porte-charbon, le charbon vient au collage, il l'écarte légèrement.

Ce même appareil peut être disposé comme marque à chaud, pour les sabots, semelles de galoches, meubles, chaussures, cuirs, étoffes, animaux, etc.

Sur le fer représenté par les figures 1 et 2 on a relevé les constantes de marche suivantes :

Temps nécessaire pour amener le fer froid à la température de service.....	3 minutes
Tension du réseau à 50 p : sec.....	125 volts
Tension aux bornes du fer.....	40 volts
Courant absorbé.....	14.5 ampères
Puissance consommée (bobine de self-induction comprise).....	625 watts.

L. Conge.

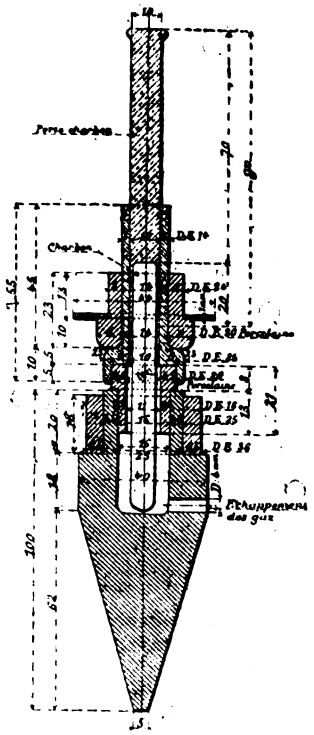


Fig. 2. — Coupe A B du fer à souder.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Etablissements Paz et Silva.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DE 14 DÉCEMBRE 1918.

L'exploitation a été rendue difficile par suite de la rareté des matières premières et de la main-d'œuvre. Le matériel exposé aux intempéries devra être reconstruit.

Grâce à la création de branches nouvelles, la Société a pu vivre. La pile Spark et les boîtiers créés il y a trois ans conservent la faveur du public.

Par prudence, il ne sera pas encore distribué de dividende cette année.

Le bénéfice de l'exercice s'élevant à 74983,89 fr est reporté à nouveau.

Avec le solde de 39183,84 fr de l'année dernière il reste une somme disponible de 114167,73 fr.

L'assemblée décide que les sommes inscrites aux différents comptes d'amortissements figurant au bilan font partie du fonds de roulement et pourront être employées en valeurs de portefeuille.

BILAN AU 30 JUIN 1918.

Actif.

	fr
Espèces en caisse et dans les banques	195 390,74
Valeurs mobilières au cours du 30 juin	363 065 »
Effets à recevoir	62 853,05
Débiteurs divers	983 338,24
Créances douteuses	1 »
Dépôts et cautionnements	31 958,35
Marchandises générales. Stock en magasin à l'inventaire	1 842 273,85
Fonds de commerce	500 000 »
Clientèle apports	55 005 »
Matériel de location (ensemble du)	7 »
Construction Sainte-Anne (amortie)	7 700 »
Agencement, installation, matériel, mobilier, outillage	5 »
Machines et matériel P. B. A.	26 053,95
Propriété Saint-Charles :	
Terrains	346 264,30
Construction pour sa valeur	98 767,85
Hangars provisoires	41 783,95
	4 557 467,28

Passif.

	fr
Capital	2 500 000 »
Réserve légale	99 949,34
Réserve extraordinaire	250 135,76
Réserve créance B	30 000 »
Réserve pour créances sous moratorium	100 000 »
Amortissements :	
Sur le fonds de commerce	280 769,20
Sur construction Saint-Charles	59 425,95
Créditeurs divers	1 123 019,30
Solde bénéficiaire au 30 juin 1917	39 183,84
Bénéfice net de l'exercice	74 983,89
	4 557 467,28

Est-Lumière
(Compagnie d'Electricité de l'Est-Parisien).

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 23 DÉCEMBRE 1918.

La Compagnie a dû faire face à des difficultés de tous ordres pour assurer la marche de son exploitation. Les dépenses de charbon, de matières premières et de main-d'œuvre n'ont cessé de croître et ont atteint un chiffre que personne ne pouvait prévoir et pour lequel aucune compensation n'était envisagée dans les polices d'abonnement et dans les traités de concession.

Néanmoins la Compagnie a pu obtenir des industriels des modifications aux conditions de vente du courant pour tenir compte, dans une certaine mesure, de l'augmentation du prix de revient produite par ces dépenses exceptionnelles.

En ce qui concerne le courant fourni à la clientèle d'éclairage et de petite force motrice, les négociations commencées l'année dernière ont enfin abouti et le relèvement temporaire des tarifs maxima a été accordé, les avenants ont été homologués par le Préfet de la Seine le 23 novembre 1918.

La clause essentielle de ces avenants a pour conséquence d'indemniser la Société par une majoration temporaire de 0,10 fr du prix des kilowatts-heures vendus au tarif maximum, de la dépense supplémentaire du charbon. Ces avenants ont un effet rétroactif à partir du 1er avril 1915.

Le nombre de polices en service au 30 juin 1918 est de 62460 représentant, pour l'éclairage, 553000 lampes et pour la force motrice 27706 kw.

Ces chiffres accusent une augmentation de 2201 abonnés pour cette année représentant pour l'éclairage 14000 lampes et pour la force motrice 833 kw.

A l'usine d'Alfortville il a été installé une turbine de 6000 kw qui sera mise en service dans les premiers mois de l'année. La production de vapeur sera augmentée par l'installation de nouvelles chaudières en plus des deux dont le montage est terminé.

Les recettes d'exploitation se sont élevées à 15791996,10 fr contre 10769142,31 fr en 1916-1917.

Le montant des dépenses est de 16043571,64 fr contre 11160393,55 fr.

Les résultats d'exploitation présentent donc une perte de 251575,54 fr contre 391251,24 fr l'année dernière.

Les différents intérêts et amortissements portent cette somme à 1488289,09 fr.

Le montant des indemnités qui sont acquises à la Société conformément aux avenants, pour la période du 1er avril 1915 au 30 juin 1918, permettra de couvrir les soldes débiteurs des deux derniers exercices et laissera, en outre, un solde disponible.

Digitized by Google

BILAN AU 30 JUIN 1819.

Actif.

	fr
Usine centrale	8 442 979,40
Réseaux	13 377 836,75
Feeders	6 665 629,39
Frais de constitution	1 »
Frais de premier établissement	1 »
Marchandises générales	452 205,01
Cautionnements aux communes	78 880,40
Caisse et banques	2 204 841,99
Débiteurs divers	3 445 644,61
Titres en portefeuille	433 750 »
Frais d'émission	1 »
Parts de fondateurs	1 »
Primes de remboursement	381 435 »
Solde débiteur de l'exercice 1916-1917	1 421 189,89
Solde débiteur de l'exercice 1917-1918	1 488 289,69
	37 792 686,13

Passif.

	fr
Capital actions	10 000 000 »
Réserve légale	903 351,68
Réserve spéciale	746 582,07
Compte d'amortissement	5 913 311,89
Obligations 4 1/2 pour 100	6 133 500 »
Obligations 5 pour 100	3 738 000 »
Dépôts de garantie des abonnés	616 739,70
Effets à payer	1 719 464,78
Créditeurs divers	6 337 318,69
Actions. Coupons échus restant à payer	11 233,07
Obligations. Coupons échus restant à payer	239 984,25
Obligations sorties à rembourser	1 433 200 »
	37 792 686,13

Société industrielle des Téléphones.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 18 DÉCEMBRE 1918.

Pendant cette quatrième année de guerre la Société a encore augmenté le chiffre de ses productions, malgré les difficultés de tous ordres qu'elle a rencontrées pour approvisionner ses usines en combustibles et en matières premières et pour recruter la main-d'œuvre.

Les différents services de l'Armée et de la Marine ont été alimentés par elle de câbles, d'appareils et d'objets manufacturés de toutes sortes ressortant de ses fabrications.

La Société a fait construire un nouveau bâtiment dans l'usine de téléphonie de la rue des Entrepreneurs, elle n'a pu continuer les constructions l'autorisation n'étant donnée pour l'édification de nouveaux bâtiments que dans les cas de nécessité absolue touchant à la Défense nationale. Les projets sont prêts et seront mis à exécution dès que les circonstances le permettront.

L'usine de Calais a été soumise à de nombreux bombardements aériens, malgré cela les dégâts sont peu importants et il n'y a pas eu de victimes.

Une coopérative d'alimentation a été créée aux usines de Bezons, et il en sera établi une autre pour le personnel des usines de Paris.

Les résultats de l'exercice sont satisfaisants, malgré une diminution sur ceux de l'exercice précédent due à ce que le prélèvement de l'Etat sur les bénéfices a été porté de 70 à 80 pour 100.

Il n'est pas fait de prélèvement pour la réserve légale puisqu'elle dépasse le dixième du capital.

L'utilisation intensive du matériel entretenu imparfaitement nécessite le prélèvement du même amortissement que l'année dernière. La réserve de prévoyance est portée à 4 000 000 fr.

Le solde créditeur pour l'exercice est de 6 711 060,13 fr, les amortissements s'élèvent à 2 500 000 fr; il reste à répartir 4 211 060,13 fr.

Un premier dividende de 5 pour 100 de la valeur des actions, 15 fr par titre, est proposé, soit 900 000 fr. Sur le reste, 3 311 060,13 fr, il est attribué 10 pour 100 au Conseil d'administration; 5 pour 100 sont mis à la disposition du Conseil en vue de rémunérations supplémentaires ou extraordinaires à la direction ou au personnel. Le surplus égale 2 820 395,13 fr.

Il est porté au compte de prévoyance 1 300 000 fr, et 1 500 000 fr sont distribués à titre de dividende complémentaire aux actions, ce qui porte le dividende total à 40 fr par action payable à partir du 23 décembre 1918.

Le report est de 20 395,13 fr.

BILAN AU 30 JUIN 1918.

Actif.

	fr	
Usines :		
de la rue des Entrepreneurs	1 454 555,48	
de Levallois-Perret	1 149 953,26	
de la rue du Théâtre (Grenelle)	1 692 654,37	
de Bezons	2 726 140,18	
de Calais	514 833,85	
Brevets	1 »	
Participations industrielles	281 823 »	
Caisses, comptes courants et disponibilités	20 195 814,82	
Comptes débiteurs	17 960 936,27	
Marchandises en magasin, en cours de fabrication et en cours de route	20 662 031,86	
Prime de remboursement amortissable des obligations	774 479,19	
Loyers d'avance	20 137,50	
	67 403 360,78	

Passif.

	fr	
Capital social	18 000 000 »	
Réserve légale	2 132 265,91	
Fonds de prévoyance	2 700 000 »	
Obligations en circulation	7 459 000 »	
Effets à payer	526 499,54	
Comptes créditeurs (fournisseurs, divers et sommes dues à l'Etat pour contribution sur bénéfices de guerre)	28 926 926,69	
Sommes reçues à valoir sur commandes en cours	307 911,07	
Coupons d'actions et d'obligations échus restant à payer (impôts déduits)	353 679,62	
Coupons des obligations à échéance du 1er juillet 1918 (impôts déduits)	135 517,82	
Obligations amorties restant à rembourser	150 500 »	
Amortissements sur immeubles et sur matériel	2 500 000 »	
Dividende	2 400 000 »	
Attribution au Conseil d'administration de 10 pour 100 du reliquat des bénéfices	327 110 »	
Part de 5 pour 100 du reliquat des bénéfices devant être affectée à des rémunérations à la direction et au personnel	163 555 »	
Provision pour fonds de prévoyance	1 300 000 »	
Report à l'exercice 1918-1919	20 395,13	
	67 403 360,78	

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF : Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 6. — 8 FÉVRIER 1919.

Chronique. — Sur les formules donnant le maximum du coup de bélier. — Bibliographie : Le courant alternatif, par R. SWYNGEDAUW; Annuaire du Bureau des Longitudes pour l'an 1919, p. 201-202.

Section scientifique et technique. — A propos des systèmes $\frac{U_1}{I_2}$ = constante, par P. BOUCHEROT, p. 203. — Propagation du courant dans une ligne, par J.-B. POMEY, p. 204. — Sur une nouvelle méthode de mesure des températures élevées (d'après la coloration de la lumière émise par le corps incandescent), par A. BOUTARIC, p. 210. — Revues, analyses et informations : Relations entre certains phénomènes galvanométriques, p. 217.

Section industrielle. — L'énergie hydraulique dans le Massif Central de la France, par P. MORIN, p. 219. — Les turbines à vapeur de grandes puissances, par Jean GUERNER, p. 227. — Revues, analyses et informations : Marche en parallèle et réglage de la tension des redresseurs de courant, p. 230; La télégraphie sans fil dans les colonies françaises, p. 233.

Section économique et financière. — Revues, analyses et informations : Les salaires et la vie chère, p. 235. — Assemblées générales : Société Norvégienne de l'Azote et des Forces hydro-électriques, p. 236.

Section de Législation. — Notes sur l'application pratique de la loi du 15 juin 1906 et des règlements annexes *(suite)*, par A. MONMERQUÉ, p. 237. — Législation, jurisprudence, réglementation : Décret rendant la direction des réseaux aux administrations qui en sont chargées en temps de paix, p. 240.

Erratum, p. 420.

Sur les formules donnant le maximum du coup de bélier. — A la suite de la publication par M. M. Gariel, dans la « R. G. E. » du 21 septembre 1918, t. IV, p. 403-411, d'un article intitulé « Etude sur les maxima de surpression dans les phénomènes des coups de bélier », l'un de nos lecteurs, le commandant J. Dyrion, nous adressait la lettre reproduite ci-dessous, où il signale une divergence entre la formule de Michaud envisagée dans cet article et la formule donnée par M. Jouguet dans sa communication au Congrès de la Houille blanche de 1914 (1).

Ayant prié M. M. Gariel de bien vouloir examiner les causes de cette divergence, celui-ci a recherché les premières publications de M. Michaud et a consigné les résultats de son examen dans la lettre que nous reproduisons à la suite de celle du commandant Dyrion.

Hauteville, 26 novembre 1918.

Dans le numéro du 21 septembre, M. Gariel (à propos du *coup de bélier dans les conduites*), donne, comme formule de Michaud, pour la valeur du coup de bélier maximum

$$\xi_M = \frac{2 L v_0}{g T}.$$

Or M. Jouguet, dans sa communication au Congrès de la Houille blanche, de 1914, pour la valeur du coup de bélier arrive à la formule

$$H = \frac{v_0 L}{g T},$$

dans le cas d'un tuyau rigide, et d'une eau incompressible. Je serais heureux de connaître la définition du coup de bélier d'après M. Michaud pour m'expliquer, malgré la similitude de forme, la différence du simple au double avec la valeur donnée par la formule de Jouguet.

J. DYRION.

Grenoble, 10 janvier 1919.

L'établissement de la formule donnée par M. Jouguet (p. 57 du second volume du compte rendu du Congrès de la Houille blanche de 1914) suppose essentiellement, d'après l'exposé même de son auteur, que l'eau est incompressible et le tuyau rigide.

Dans cette hypothèse, M. Michaud lui-même avait démontré dès 1878 (Bulletins 3 et 4 de la Société Vaudoise des ingénieurs et architectes) que le maximum du coup de bélier devait bien être égal à

$$\frac{L v_0}{g T}$$ (1)

Mais M. Michaud avait démontré en même temps que si l'on tenait compte de la compressibilité de l'eau et de l'élasticité du tuyau par la méthode simplifiée consistant à représenter l'action de cette compressibilité et de cette élasticité

(1) E. JOUGUET. Théorie générale des coups de bélier. *Deuxième Congrès de la Houille blanche*, t. II, p. 52-120.

(1) Voir également à ce sujet : J. MICHAUD. *Bulletin technique de la Suisse romande*, 10 et 25 février 1903.

Digitized by Google

par un réservoir d'air fictif (1) placé au bas de la conduite, le maximum du coup de bélier devait être

$$\frac{2Lv_0}{gT}.$$

Enfin les théories complètes de Joukowski, Allievi, de Sparre montrent que le maximum du coup de bélier pour les durées de fermeture s'effectuant en un temps inférieur ou égal à $\frac{2L}{a}$ est donné par la formule $\frac{av_0}{g}$. Si $T = \frac{2L}{a}$ cette formule peut s'écrire $\frac{2Lv_0}{gT}$, qui est la formule de Michaud.

Si au contraire T est très grand par rapport à $\frac{2L}{a}$, le maximum se rapproche de $\frac{Lv_0}{gT}$, ceci par le jeu des réflexions successives de l'onde, réflexions dont n'avaient tenu compte ni M. Michaud, ni M. Rateau.

Il est assez curieux de constater que les hypothèses très simplifiées de ces deux ingénieurs les avaient conduits à donner comme valeurs limites aux coups de bélier celles précisément que leur assignent les théories complètes les mieux vérifiées par l'expérience. Leur intuition première avait donc été particulièrement heureuse.

M. Gariel.

Bibliographie : Le courant alternatif, par R. Swyngedauw (2). — En 1913, M. Swyngedauw, directeur de l'Institut électrotechnique de Lille, avait entrepris, avec la collaboration de MM. Nègre et Beauvais, chargés de conférences à cet Institut, la publication en six volumes du Cours d'Electrotechnique générale et appliquée professé à l'Institut. Dans le cours de 1913 et le début de 1914, deux de ces volumes, relatifs à la dynamo à courant continu ont été mis en vente ; quelques jours seulement avant l'ouverture des hostilités un troisième volume paraissait. C'est ce dernier volume que vient de nous adresser M. Swyngedauw et que nous présentons ici.

Cet important ouvrage est consacré à l'étude générale des propriétés des courants alternatifs, à celle des bobines de self-induction et des transformateurs, enfin à l'étude des surtensions des réseaux ; il ne comprend pas moins de 32 chapitres et 2 appendices.

Dans l'impossibilité de pouvoir donner dans l'espace qui nous est dévolu le titre de ces nombreux chapitres — ce qui, mieux que notre brève notice, donnerait un aperçu du contenu de l'ouvrage — bornons-nous à dire que les généralités sur le courant alternatif sont exposées avec une clarté que ne manqueront pas d'apprécier les étudiants. L'auteur semble en effet s'être appliqué à réduire au minimum l'appareil mathématique pour faire une place plus grande aux constructions graphiques et aux développements d'ordre purement physique, ce qui ne l'empêche pas d'ailleurs de donner, à côté de la méthode vectorielle, la méthode algébrique et même la méthode des imaginaires dans de nombreuses applications. Relevons encore parmi les chapitres consacrés aux généralités, les deux qui traitent de la décomposition des grandeurs périodiques en leurs harmoniques, le tracé des courbes de tension et de courant et l'analyse d'une grandeur complexe.

L'étude des bobines de self-induction et des transformateurs forme la matière de six chapitres. Dans le dernier, qui contient l'étude des transformateurs de fréquence, des transformateurs de phase et des redresseurs, se trouvent les descriptions du doubleur et du tripleur de fréquence Joly, du transformateur Scott, des soupapes Cooper-Hewitt, etc.

La partie de l'ouvrage consacrée aux surtensions des réseaux est particulièrement intéressante. L'auteur, qui à maintes reprises s'est trouvé en face des difficultés provoquées par les surtensions et qui a fait de celles-ci l'objet de diverses études théoriques et expérimentales, a traité largement le sujet. Les praticiens ne sauraient s'en plaindre car ils se trouveront ainsi mieux en mesure de se rendre compte de causes des surtensions des réseaux et de prendre les dispositions utiles pour les atténuer ou les éviter.

L'ouvrage de M. Swyngedauw constitue donc une contribution importante à l'enseignement de l'électrotechnique et on ne peut qu'exprimer le désir de le voir bientôt complété par la publication des trois volumes qui doivent, avec les trois déjà parus, constituer l'ensemble du cours d'électrotechnique.

Bibliographie : Annuaire du Bureau des Longitudes pour l'an 1919 (1). — L'Annuaire du Bureau des Longitudes pour l'an 1919 vient de paraître, nous n'avons pas à le présenter à nos lecteurs qui connaissent tous ce précieux volume qui groupe un nombre considérable de renseignements numériques qui, sans lui, serait des plus difficiles à trouver.

Voici un aperçu des différents sujets traités dans l'annuaire de 1919: Le premier chapitre contient le calendrier solaire, lunaire et planétaire ainsi que les prédictions astronomiques pour l'an 1919; il se termine par l'étude des différents calendriers. Le chapitre II est consacré à la terre. Le chapitre III est un petit traité complet d'astronomie. Le chapitre IV est relatif aux poids et mesures ; on y trouve tous les renseignements concernant le système métrique, les mesures légales françaises, la conversion des mesures anciennes ou nouvelles, le système C. G. S., les unités électromagnétiques absolues, le système pratique, les mesures anglaises, des Etats-Unis d'Amérique, russes et japonaises, la comparaison des thermomètres, les mesures employées sur les cartes marines, le tonnage des navires. Le chapitre V contient des statistiques géographiques et démographiques, des tables de survie, d'intérêt et d'amortissement.

A ces différents chapitres fait suite un supplément contenant les principales données astronomiques pour l'an 1920.

Le petit volume se termine par deux intéressantes notices, l'une de M. P. Appel : « Figures d'équilibre relatif d'un liquide homogène en rotation, dont les éléments s'attirent suivant la loi de Newton » ; l'autre, de M. M. Hamy : « La détermination interférentielle des diamètres des astres ».

Les trois cartes magnétiques publiées dans l'annuaire sont relatives à la France. La première donne les lignes d'égale déclinaison au 1er janvier 1911 ; la seconde, les lignes d'égale inclinaison au 1er janvier 1911 et la troisième, les lignes d'égale composante horizontale au 1er janvier 1911. Cinq cartes célestes en couleur complètent l'annuaire.

(1) La méthode du réservoir d'air fictif est celle qu'a employée M. Rateau dans la théorie des coups de bélier qu'il a donnée dans son *Traité des turbo-machines*, Paris 1900.

(2) Un volume, format 25 cm. × 16 cm, 564 pages, 234 figures, édité par la librairie polytechnique Béranger, 15, rue des Saints-Pères, Paris. Prix, 17,50 fr.

(1) Un volume, 15 cm × 9 cm, de 700 pages, 14 figures, 5 cartes célestes en couleur et 3 cartes magnétiques, édité par la librairie Gauthier-Villars et Cie, 55, quai des Grands-Augustins, Paris. Prix broché, 3 fr.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

A propos des systèmes $\frac{U_1}{I_2}$ = constante

Dans une courte note, l'auteur montre comment on peut comprendre physiquement une particularité des montages à intensité constante mise en évidence dans un précédent article de M. Lalesco, et sous quelle réserve.

En suite à l'intéressant article de M. Lalesco, paru dans la Revue du 28 décembre dernier, je ne crois pas inutile de chercher à faire comprendre physiquement, et pour ainsi dire sans calculs, une conclusion qu'il a mise en évidence, mais dont la raison ne semble pas ressortir d'elle-même de ses calculs.

Je rappelle d'abord, par quelques figures, les montages

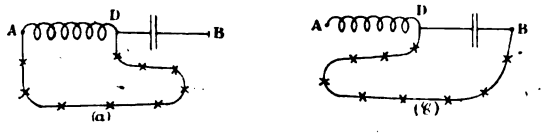


Fig. 1.

ayant la propriété de donner, en alternatif, un courant constant avec une tension constante :

Figure 1, a et b : montages de 1890, que j'appelle, pour simplifier le langage, en *shunt*.

Figure 2, montage de 1895, que j'appelle montage en *pont*.

J'ai montré en 1898 (Société des Electriciens, février 1898) que l'on peut faire une seule démonstration

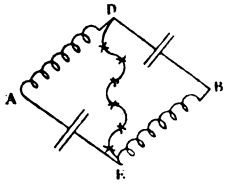


Fig. 2.

qui s'applique à tous ces montages. Je la répéterai ici, mais sans me servir des quantités complexes, dont je me dispense et je conseille de se dispenser, chaque fois qu'on le peut. J'estime en effet que les imaginaires sont comme une machine à faire du boudin: on voit ce qui entre et ce qui sort, mais non ce qui se passe entre temps.

On jugera si cette démonstration est simple, même sans le concours des imaginaires.

Considérons un montage *incomplet* tel que celui de la figure 3; soit u_1 la différence de potentiel instantanée entre A et B; i, i' et i_2, les trois courants instantanés dans les trois portions de circuits représentées.

On a

$$i = i_2 + i',$$

et, si l'on remarque de suite qu'une capacité C est

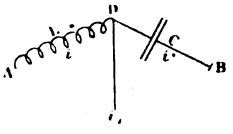


Fig. 3.

équivalente, en alternatif, à une self-inductance négative $-\frac{1}{\omega^2 C}$, on a d'autre part pour les tensions

$$u_1 = L\frac{di}{dt} - \frac{1}{\omega^2 C}\frac{di'}{dt} = L\frac{di_2}{dt} + \left(L - \frac{1}{\omega^2 C}\right)\frac{di'}{dt},$$

ce qui se réduit à

$$u_1 = L\frac{di_2}{dt},$$

si la condition de résonance $\omega^2 LC = 1$ est remplie. Passant aux valeurs efficaces,

$$U_1 = \omega L . I_2.$$

$$I_2 = \frac{U_1}{\omega L} = \text{constante, si } U_1 \text{ est constante.}$$

La démonstration est donc faite sans qu'il soit nécessaire de compléter le schéma, c'est-à-dire sans qu'il soit nécessaire, ni d'indiquer ce qu'il y a dans le circuit à intensité constante, ni même de spécifier à quoi il aboutit !

Si l'on connecte l'extrémité libre de ce circuit à l'une des bornes extrêmes, on réalise le montage en *shunt*: celui de la figure 1 a, si l'on connecte à la borne A; celui de la figure 1 b, si l'on connecte à la borne B.

Digitized by Google

Mais l'on peut aussi relier cette extrémité libre *aux deux* bornes extrêmes A et B à travers des résistances, self-inductions, ou capacités quelconques : c'est ce qu'a mis en évidence M. Lalesco dans son article. Il faut cependant faire quelques réserves.

Si l'on se propose d'obtenir le résultat aux moindres frais possibles, le mieux est de relier par des self-induction et capacité de *même réactance*, selon figure 2, en croisant les appareils. [Si l'on ne croise pas, on fait court-circuit sur la source parce que le courant constant que donne le deuxième système self-capacité, qu'on ajoute, est de sens contraire à celui du premier : pour qu'il soit de même sens il faut croiser] j'ai montré depuis longtemps que le système en pont est plus avantageux à réaliser que ceux en shunt, soit au point de vue de la dépense à faire pour les appareils, soit au point de vue du facteur de puissance du courant pris à la source.

D'autre part, s'il est exact de dire que, d'une façon générale, l'intensité constante est réalisée quand une seule condition de résonance est satisfaite, il convient, en toute rigueur, d'ajouter que cette condition est non seulement suffisante mais *nécessaire*, si l'on ne met pas des réactances égales dans les quatre branches. En effet, si l'on complète la figure 3 avec une self-inductance L' et une capacité C' telles que l'on ait aussi $\omega^2 L'C' = 1$, mais avec $L' \neq L$ et $C' \neq C$, on fait *court-circuit* sur la source. Le système LC tend, en effet, à donner une intensité constante $\frac{U_1}{\omega L}$, le système $L'C'$ une intensité constante $\frac{U'}{\omega L'}$, différente de la première, et on ne réalise qu'un court-circuit.

Il y a là quelque chose d'analogue au fonctionnement de deux transformateurs ordinaires dont les primaires sont en parallèle sur la même source et dont on réunit les secondaires en parallèle : si leurs coefficients de transformation sont inégaux, on fait court-circuit sur la source. Il peut y avoir pratiquement une petite différence entre les rapports de transformation, qui conduit à une différente répartition des charges ; de même, dans le montage à intensité constante en pont, s'il y a une petite différence entre les deux systèmes self-capacité montés sur la même source, cela se traduit par une différence dans la répartition des charges sur ces deux systèmes.

P. Boucherot.

Propagation du courant dans une ligne

L'article ci-dessous se rapporte à l'intégration de l'équation des télégraphistes, c'est-à-dire à la propagation du courant sur une ligne télégraphique. Après avoir rappelé les principes généraux concernant le cas des forces électromotrices variables et les avoir illustrés par un exemple simple, l'auteur démontre la formule d Heaviside, connue sous le nom de théorème du développement et il donne ensuite une formule plus générale s'appliquant au cas où le système ne part pas du repos. Ajoutons que cet article a été remis à la « R. G. E. » le 13 septembre 1918 et que les considérations qui y sont présentées étaient déjà depuis plusieurs années exposées par M. Pomey dans son cours à l'Ecole supérieure des Télégraphes.

1. **Ligne artificielle et ligne réelle.** — L'étude de la propagation du courant sur une ligne télégraphique se présente de la façon la plus simple, lorsque l'on considère le cas d'une ligne possédant en chaque point de la conductibilité, de la capacité, de l'inductance et de la perte latérale comme le cas limite d'un réseau formé d'une infinité de mailles. Au lieu d'avoir à résoudre pour des conditions initiales données une équation aux différentielles partielles, on est ramené à un système d'équations différentielles ordinaires à coefficients constants et l'on a à chercher ce que devient la solution lorsque le nombre des degrés de liberté augmente indéfiniment. Toute se passe comme si l'on partait de lignes artificielles de plus en plus parfaites pour aboutir à la ligne réelle.

2. **Principe de superposition.** — Considérons donc un réseau de Kirchhoff dans les diverses branches duquel soient réparties des résistances, des bobines d'induction des condensateurs et examinons comment se pose le problème au point de vue mathématique.

S'il y a plusieurs forces électromotrices agissantes, il est clair qu'on pourra se borner à étudier l'action produite par chacune d'elles. En effet, les équations du problème sont des équations linéaires à coefficients constants, dans lesquelles les forces électromotrices constituent les seconds membres. Si donc le courant i_1 correspond aux forces électromotrice e'_1, e'_2, e'_3, et que le courant i_2 corresponde aux forces électromotrices e''_1, e''_2, e''_3, le courant $i_1 + i_2$ sera une solution correspondant aux forces électromotrice $e'_1 + e''_1, e'_2 + e'_3, e'_3 + e''_3$ et ce sera la solution en partant du repos, si i_1 et i_2 sont elles-mêmes des solutions en partant du repos. Si i_1 correspond à des données initiales déterminées et si i_2 correspond au cas où l'on part du repos, $i_1 + i_2$ correspondra au système de force électromotrice (1) et (2) cumulées et aux mêmes conditions initiales que i_1.

En général, les forces électromotrices seront variables avec le temps suivant une loi quelconque ; en télégraphie, on emploie en effet des courants bridés, ou bien et c'est ce qui a lieu dans le Wheatstone, on introduit à un moment donné une résistance ou une dérivation pour

Digitized by Google

modifier la force électromotrice de la pile d'envoi. On peut ramener le cas de la force électromotrice variable de trois façons différentes à un cas plus simple.

3. **Réduction du cas de la force électromotrice variable à celui de la force électromotrice constante.** — La première méthode consiste à ramener le problème au cas de la force électromotrice constante. Si une force électromotrice d'intensité égale à l'unité produit au bout du temps t dans une certaine branche un courant d'une intensité $f(t)$, une force électromotrice d'intensité $\varphi(\tau)\,d\tau$ introduite à l'époque τ, produira dans cette branche un courant d'une intensité $f(t-\tau)\varphi(\tau)\,d\tau$ à l'époque t. Si donc la force électromotrice variable est égale à chaque instant à

$$\int_0^t \varphi(\tau)\,d\tau,$$

il suffira d'intégrer les effets successifs dus à la différentielle de cette force électromotrice appliquée aux diverses époques τ, chacune de ces forces électromotrices élémentaires étant considérée comme force électromotrice constante (1).

Nous allons éclaircir ce point par un exemple :

4. **Exemple simple.** — L'équation d'établissement du courant dans une bobine d'inductance L et de résistance R sous l'action d'une force électromotrice constante E agissant à partir de l'époque $t=0$ dans le circuit au repos est :

$$E = Ri + L\frac{di}{dt} \quad \text{ou} \quad i = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right).$$

De ce cas nous allons déduire la solution d'un autre cas où la force électromotrice est variable.

Soit, par exemple, pour force électromotrice

$$e = e_0 \sin(\omega t + \varphi),$$

ce qu'on peut écrire

$$e = e_0\omega\int_0^t \cos(\omega\tau + \varphi)\,d\tau + e_0 \sin\varphi.$$

La solution sera

$$i = \int_0^t \frac{e_0\omega}{R}\cos(\omega\tau+\varphi)\left(1-e^{-\frac{R}{L}(t-\tau)}\right)d\tau + \frac{e_0\sin\varphi}{R}\left(1-e^{-\frac{R}{L}t}\right).$$

Je pose

$$\beta = \frac{R}{L}, \qquad r^2 = \omega^2+\beta^2, \qquad r\cos\theta = \frac{R}{L},$$

et j'ai, tout calcul fait,

$$\int_0^t \cos(\omega\tau+\varphi)e^{-\beta(t-\tau)}d\tau = \frac{1}{r}(\cos\omega t+\varphi-\theta)-\cos(\varphi-\theta)e^{-\beta t}).$$

(1) Mascart et Joubert. *Leçons sur l'Electricité et le Magnétisme*. 1882, p. 233. — Vaschy. *Traité d'Electricité et de Magnétisme*. 1890, p. 207.

Reportant cette valeur dans i et supprimant les termes qui se détruisent, il reste

$$i = \frac{e_0}{R}\left(\sin(\omega t+\varphi) - \frac{\omega}{r}\cos(\omega t+\varphi-0)\right) + e^{-\beta t}\frac{e_0}{R}\left(\frac{\omega}{r}\cos(\varphi-0) - \sin\varphi\right).$$

Utilisons maintenant les deux relations identiques.

$$\sin(\omega t+\varphi) - \sin\theta\cos(\omega t+\varphi-0) = \cos\theta\sin(\omega t+\varphi-0),$$

$$\sin\varphi - \sin\theta\cos(\varphi-0) = \cos\theta\sin(\varphi-0),$$

il restera, en remplaçant $\cos\theta$ par $\frac{R}{\sqrt{R^2+L^2\omega^2}}$,

la solution bien connue

$$i = \frac{e_0}{\sqrt{R^2+L^2\omega^2}}\left(\sin(\omega t+\varphi-0) + \sin(0-\varphi)\,e^{-\frac{R}{L}t}\right),$$

qui pour $t=0$ se réduit bien à $i=0$. C'est donc la solution à partir du repos.

5. **Réduction du cas de la force électromotrice variable au cas des forces électromotrices périodiques simples.** — Une autre manière de trouver la solution qui correspond au cas d'une force électromotrice variable, consiste à ramener ce cas à celui d'une force électromotrice périodique simple où, si l'on veut, à la solution isochrone, obtenue en supposant que la force électromotrice est de la forme $e^{\omega t\sqrt{-1}}$.

On a, en effet, d'après Fourier

$$f(t) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} dp \int_{-\infty}^{+\infty} f(\mu)\cos p(\mu - t)\,d\mu,$$

et, dans cette formule, le temps n'entre plus que sous le signe cosinus (1).

6. **Décomposition d'une force électromotrice constante en forces électromotrices élémentaires périodiques, de période imaginaire.** — Je vais montrer sur l'exemple que j'ai choisi précédemment à cause de sa simplicité, qu'on peut ramener aisément le cas de la force électromotrice constante à celui de la force électromotrice périodique (2).

Soit donc

$$i = Ae^{\omega t\sqrt{-1}},$$

la solution isochrone de l'équation

$$Ri + L\frac{di}{dt} = e_0 e^{\omega t\sqrt{-1}},$$

(1) Cf Poincaré. *Théorie analytique de la propagation de la chaleur*. 1895, p. 78 à 84.

(2) *Annales des P. T. T.* Supplément au n° 1 de la 2e année. Formules relatives à la propagation du courant.

Digitized by Google

on aura, pour déterminer A, par simple substitution, l'équation

$$\left(R + L\omega\sqrt{-1}\right) A = e_0,$$

d'où

$$i_0 = \frac{e_0}{R + L\omega\sqrt{-1}}\, e^{\omega t\sqrt{-1}}.$$

Mais, dans ce qui précède, rien n'oblige, au point de vue mathématique, à considérer ω comme une variable réelle et la même solution s'applique au cas où ω est une variable complexe. Supposons que ce soit le cas. On aura identiquement

$$e_0 = \frac{e_0}{2\pi\sqrt{-1}} \int e^{\omega t\sqrt{-1}}\, \frac{d\omega}{\omega};$$

en intégrant, dans le plan des imaginaires, le long d'un contour quelconque embrassant une fois l'origine. Je puis donc considérer la force électromotrice constante comme la somme de forces électromotrices élémentaires imaginaires d'intensité

$$\frac{e_0}{2\pi\sqrt{-1}}\, e^{\omega t\sqrt{-1}}\, \frac{d\omega}{\omega}.$$

Faisons la somme de toutes ces actions, nous aurons pour le courant résultant

$$i = \frac{e_0}{2\pi\sqrt{-1}} \int \frac{e^{\omega t\sqrt{-1}} d\omega}{\omega\left(R + L\omega\sqrt{-1}\right)}.$$

Nous aurons différentes intégrales suivant le parcours que nous attribuerons au chemin d'intégration; mais celui qui correspond au cas où l'on part du repos est celui qui embrasse à la fois le pôle zéro et le pôle $\frac{-R}{L\sqrt{-1}}$ de la fonction de ω placée sous le signe d'intégration. Le théorème des résidus donne alors

$$i = \frac{e_0}{R} - \frac{e_0}{R}\, e^{\sqrt{-1}\left(-\frac{R}{L\sqrt{-1}}\right)t},$$

ou

$$i = \frac{e_0}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right),$$

ce qui est bien le résultat que nous devions retrouver; on a bien $i = 0$ pour $t = 0$.

Si au lieu d'avoir une équation du premier ordre, nous avions une équation du second ordre comme celle qui se rapporte au circuit à condensateur

$$L\frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C}\int i\,dt = E,$$

le procédé s'appliquerait également bien. On poserait $Q = \int i\,dt$, l'équation serait

$$L\frac{d^2Q}{dt^2} + R\frac{dQ}{dt} + \frac{1}{C}Q = E,$$

avec les conditions initiales

$$Q = 0 \qquad \frac{dQ}{dt} = 0,$$

que nous énonçons en langage ordinaire, en disant que, à l'intérieur du condensateur, le déplacement électrique part de zéro avec une vitesse initiale égale aussi à zéro.

7. **Problème général dans le cas de la force électromotrice constante.** — Plus généralement, envisageons l'équation différentielle linéaire à coefficients constants

$$\frac{d^n x}{dt^n} + a_{n-1}\frac{d^{n-1}x}{dt^{n-1}} + a_{n-2}\frac{d^{n-2}x}{dt^{n-2}} + \ldots + a_1\frac{dx}{dt} + a_0 x = E.$$

Si E est de la forme $e_0 e^{\omega t\sqrt{-1}}$, il est facile d'avoir la solution isochrone

$$i = Ae^{\omega t\sqrt{-1}},$$

par simple substitution dans l'équation; en supprimant $e^{\omega t\sqrt{-1}}$ qui est facteur commun, on obtient en effet

$$A\left[\left(\omega\sqrt{-1}\right)^n + a^{n-1}\left(\omega\sqrt{-1}\right)^{n-1} + \ldots + a_1\omega\sqrt{-1} + a_0\right] = e_0$$

d'où A. Posons, pour simplifier

$$F(x) = z^n + a_{n-1}z^{n-1} + \ldots + a_1 z + a_0,$$

il viendra

$$A = \frac{e_0}{F\left(\omega\sqrt{-1}\right)}; \qquad i = e_0\,\frac{e^{\omega t\sqrt{-1}}}{F\left(\omega\sqrt{-1}\right)}.$$

Passons maintenant au cas où E est une constante; soit e_0 sa valeur. Pour ramener ce cas au précédent, il suffira de considérer la force électromotrice constante comme la somme d'une infinité de forces électromotrices élémentaires de la forme $e^{\omega t\sqrt{-1}} \times$ constante, sans d'ailleurs nous inquiéter de ce que ω ait ou n'ait pas une valeur réelle; le résultat analytique doit subsister. Or, on a identiquement

$$e_0 = e_0 \times \frac{1}{2\pi\sqrt{-1}} \int \frac{e^{\omega t\sqrt{-1}} d\omega}{\omega}.$$

Chacune des forces électromotrices élémentaires

Digitized by Google

donne lieu à une solution de forme isochrone et l'on aura pour solution

$$i = e_0 \times \frac{1}{2\pi\sqrt{-1}} \int \frac{d\omega . e^{\omega t\sqrt{-1}}}{\omega F(\omega\sqrt{-1})}.$$

Pour pouvoir appliquer à cette intégrale le théorème des résidus, il faut décomposer

$$\frac{1}{\omega\sqrt{-1}\,F(\omega\sqrt{-1})},$$

en fractions simples. Soient donc $z_1, z_2 \ldots z_n$ les n racines de $F(z)$, la formule de la décomposition des fractions simples donne

$$\frac{1}{zF(z)} = \frac{1}{zF(0)} + \frac{1}{z_1F_z'(z_1)(z-z_1)} + \frac{1}{z_2F_z'(z_2)(z-z_2)} + \ldots + \frac{1}{z_nF_z'(z_n)(z-z_n)}.$$

D'où

$$i = e_0\left[\frac{1}{2\pi\sqrt{-1}\,F(0)}\int\frac{d\omega e^{\omega(\sqrt{-1})t}}{\omega} + \sum_k \frac{1}{z_kF_z'(z_k)} \times \frac{1}{2\pi\sqrt{-1}}\int\frac{d\omega\, e^{\omega t\sqrt{-1}}}{\omega - \frac{z_k}{\sqrt{-1}}}\right].$$

Supposons que le contour d'intégration entoure une fois tous les points $\frac{z_1}{\sqrt{-1}}, \frac{z_2}{\sqrt{-1}} \ldots \frac{z_r}{\sqrt{-1}}$ et l'origine, ce qui pourra avoir lieu s'il est constitué par un cercle concentrique à l'origine de rayon suffisamment grand, alors on aura

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{-1}}\int\frac{d\omega e^{\omega t\sqrt{-1}}}{\omega} = 1,$$

et

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{-1}}\int\frac{d\omega\, e^{\omega t\sqrt{-1}}}{\omega - \frac{z_k}{\sqrt{-1}}} = e^{z_kt}.$$

8. **Justification de la formule d'Heaviside.** — La solution ainsi obtenue sera (1)

$$i = \frac{e_0}{a_0} + \sum_k \frac{e^{z_kt}}{z_kF'_z(z_k)}. \quad \text{(Heaviside)}$$

dont la dérivée $m_{ième}$ sera

$$i^{(m)} = \sum_k \frac{z_k^{m-1}.e^{z_kt}}{F'_z(z_k)},$$

(1) *Electromagnetic Theory*, t. II, p. 282. 1895.

laquelle se réduit, pour $t = 0$, à

$$i_0^{(m)} = \sum_k \frac{z_k^{m-1}}{F'_z(z_k)}.$$

On pourrait déduire la valeur de cette somme des formules d'Euler; mais la méthode même que nous venons de suivre va nous donner la démonstration de ces formules. On a, en effet

$$\frac{z^{m-1}}{F(z)} = \sum \frac{z_k^{m-1}}{F'_z(z_k)(z-z_k)}.$$

d'où

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{-1}}\int\frac{z^{m-1}}{F(z)}dz = \sum\frac{z_k^{m-1}}{F'_z(z_k)}.\frac{1}{2\pi\sqrt{-1}}\int\frac{dz}{z-z_k}.$$

et si nous intégrons le long d'un contour embrassant une fois comme nous l'avons supposé l'ensemble des point racines, il vient

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{-1}}\int\frac{dz}{z-z_\nu} = 1,$$

de sorte que le second membre devient identique avec l'expression de $i_0^{(m)}$. Considérons donc l'intégrale

$$\int\frac{z_{m-1}}{F(z)}dz,$$

qui est prise, si nous voulons, le long d'un cercle de rayon infini tracé autour de l'origine; si R est le rayon de ce cercle, la quantité à intégrer est infiniment petite de l'ordre de

$$\left(\frac{1}{R}\right)^{n-m+1},$$

l'arc d'intégration étant infiniment grand de l'ordre de R, donc l'intégrale est nulle, pour toute valeur de m égale à 1, 2, ... $n-1$. On a donc $i'_0 = 0, i''_0 = 0 \ldots i_0^{(n-1)} = 0$. On verrait de même que i_0 est égal à zéro.

Il en résulte que la formule de Heaviside est celle qui convient au cas où le système part du repos.

9. **Extension au cas de la ligne réelle.** — On voit ainsi tout l'intérêt qu'il y a eu à développer la solution suivant une formule algébrique, c'est que cette formule étant vraie, quel que soit le nombre n des degrés de liberté du système, elle s'appliquera, dans la généralité des cas, aux problèmes qui impliquent un nombre infini de degrés de liberté. Les systèmes auxquels on arrive alors sont des limites des systèmes que nous venons de considérer et le problème de la distribution du courant s'exprimerait par une ou plusieurs équations aux différentielles partielles, jointes à un certain nombre d'équations différentielles ordinaires, auxquelles il faut satisfaire aux extrémités et aux points de

Digitized by Google

jonction des diverses parties qui relèvent des diverses équations différentielles.

La solution précédente s'étend donc au cas d'une ligne télégraphique, pourvue d'appareils de transmission et de réception. Si la solution isochrone, toujours facile à avoir, est

$$i = \frac{e_0}{F(\omega\sqrt{-1})} \cdot e^{\omega t\sqrt{-1}},$$

la solution à partir du repos pour une force électromotrice constante sera

$$i = \frac{e_0}{2\pi\sqrt{-1}} \int \frac{e^{\omega t\sqrt{-1}}\, d\omega}{\omega F(\omega\sqrt{-1})},$$

le contour d'intégration entourant tous les zéros de $F(\omega\sqrt{-1})$ et l'origine.

10. **Force électromotrice variable en partant d'un état de mouvement donné.** — Je me propose maintenant de donner une formule plus générale. D'une part, je supposerai la force électromotrice E quelconque, d'autre part je supposerai que la variable et ses $n-1$ premières dérivées prennent des valeurs déterminées à l'époque $t = 0$.

Dans les divers cours d'analyse, on dit fort bien que lorsque l'on a la solution d'un système quelconque d'équations différentielles linéaires (non à coefficients constants) sans seconds membres, le problème de la résolution du système à seconds membres, peut être ramené aux quadratures : et on le démontre. Ici, je vais n'avoir affaire qu'aux équations avec des coefficients constants ; en revanche, je puis donner la formule algébrique complète (1).

Je vais décomposer le problème en deux autres ; premier problème : on part du repos, mais le second membre est une fonction $f(t)$ quelconque ; deuxième problème : le second membre est zéro, mais on part d'un état de mouvement donné ; x et ses $n-1$ premières dérivées ont les valeurs données $x_0, x'_0 \ldots x_0^{n-1}$ respectivement.

11. **Force électromotrice variable en partant du repos.** — L'équation proposée est la suivante

$$a_n x^{(n)} + a_{n-1} x^{(n-1)} + \ldots + a_1 x' + a_0 x = f(t).$$

et je pose

$$F(z) = a_n z^n + a_{n-1} z^{n-1} + \ldots + a_1 z + a_0,$$

j'appelle $z_1, z_2 \ldots z_n$ les n racines de F.

Je dis que la solution, à partir du repos est

$$X = \sum_k \frac{e^{z_k t}}{F'(z_k)} \int_0^t e^{-z_k t} f(t)\, dt, \quad k = 1, 2 \ldots n.$$

(1) Cours de Hadamard à l'École Polytechnique et Jordan *Cours d'Analyse à l'École Polytechnique*, t. III, p. 131.

C'est ce que je vais vérifier en substituant X à x dans l'équation différentielle et en montrant qu'elle est vérifiée, puis en faisant voir que X et ses $n-1$ premières dérivées s'annulent pour $t = 0$.

Pour cela, je calculerai les dérivées successives, que je désignerai par des accents : J'ai

$$X' = \sum \frac{z e^{zt}}{F'(z)} \int_0^t e^{-zt} f(t)\, dt + \sum \frac{1}{F'(z)} f(t).$$

Mais, d'après une relation connue, on a

$$\sum_k \frac{1}{F'(z_k)} = 0,$$

et la seconde somme disparaît ; il reste donc

$$X' = \sum \frac{z e^{zt}}{F'(z)} \int_0^t e^{-zt} f(t)\, dt,$$

où la somme est prise en donnant à z successivement les valeurs $z_1, z_2 \ldots z_n$.

Il est facile de vérifier que l'on a

$$X^{(k)} = \sum \frac{z^k e^{zt}}{F'(z)} \int_0^t e^{-zt} f(t)\, dt,$$

en effet, supposons cette formule vérifiée, on en tirera pour la dérivée suivante

$$X^{(k+1)} = \sum \frac{z^{k+1} e^{zt}}{F'(z)} \int_0^t e^{-zt} f(t)\, dt + \sum \frac{z^k}{F'(z)} \cdot f(t),$$

mais, si k est au plus égal à $n-2$, on a

$$\sum_m \frac{z_m^k}{F'(z_m)} = 0,$$

et par suite, si la formule tient pour une certaine valeur de k, dans les limites indiquées, elle tient pour la suivante, or elle varie pour $k = 1$, elle est donc vraie pour $k = 1, 2, \ldots n-2$.

Enfin, on a

$$X^{n-1} = \sum \frac{z^{n-1} e^{zt}}{F'(z)} \int_0^t e^{-zt} f(t)\, dt + \sum \frac{z^{n-1}}{F'(z)} f(t).$$

Mais, d'après une formule connue, on a

$$\sum_m \frac{z_m^{n-1}}{F'(z_m)} = \frac{1}{a_n},$$

il reste donc

$$X^{(n)} = \sum \frac{z^n e^{zt}}{F'(z)} \int_0^t e^{-zt} f(t)\, dt + \frac{1}{a_n} f(t).$$

Digitized by Google

Formons l'expression

$$a_n X^{(n)} + a_{n-1} X^{(n-1)} + \ldots + a_0 X,$$

il vient, en omettant l'indice de z pour simplifier l'écriture,

$$\sum \frac{a_n z^n + a_{n-1} z^{n-1} + \ldots + a_0}{F'(z)} \int_0^t e^{-zt} f(t)\, dt + f(t),$$

ce qui se réduit à $f(t)$ puisque z est racine de $F(z)$ quel que soit son indice.

On a donc

$$a_n X^{(n)} + a_{n-1} X^{(n-1)} + \ldots + a_0 X = f(t),$$

et X est une solution ; mais il est clair d'autre part que si l'on fait $t = 0$, les deux limites de l'intégration ne comprennent plus qu'un champ nul et que X et ses $n - 1$ premières dérivées s'annulent.

On a donc la solution qui convient en partant du repos.

12° **Oscillations propres du système à partir d'un état donné de mouvement.** — Je passe maintenant à la seconde face du problème ; $f(t)$ est remplacé par zéro ; mais en revanche, l'état initial diffère du repos, soit qu'il soit dû à des impulsions instantanées, soit qu'il représente le résidu d'un état de mouvement antérieur, persistant après que les forces électromotrices ont cessé d'agir, pour être revenues au repos ou avoir été éliminées. L'état initial de mouvement est caractérisé par les valeurs $x_0, x'_0 \ldots x_0^{(n-1)}$ prises par x et ses $n - 1$ premières dérivées.

J'appelle Y la solution dans ce cas, et je dis que l'on a

$$Y \equiv \sum_m \frac{F(x_0)}{x_0 - z_m} \cdot \frac{e^{z_m t}}{F'(z_m)}.$$

Je mets le signe $\equiv$ pour indiquer que, dans cette formule, $\frac{F(x_0)}{x_0 - z_m}$ a un sens symbolique et qu'on a

$$\frac{F(x_0)}{x_0 - z_m} \equiv a_n x_0^{(n-1)} + (a_{n-1} + a_n z_m)\, x_0^{(n-2)} + \ldots + (a_1 + a_2 z_m + a_3 z_m^2 + \ldots + a_n z_m^{n-1})\, x_0.$$

Si je change les indices de dérivation de x_0 en exposants, je retombe sur la formule algébrique, facile à vérifier par simple division, savoir :

$$\frac{F(x_0)}{x_0 - z_m} = a_n x_0^{n-1} + (a_{n-1} + a_n z_m)\, x_0^{n-2} + (a_{n-2} + a_{n-1} z_m + a_n z_m^2)\, x_0^{n-3} + \ldots$$

Cela posé, il est clair que chacun des termes de Y satisfait à l'équation différentielle. Il n'y a donc qu'à rechercher les valeurs de X et des dérivés, jusqu'à la $n - 1^{\text{ième}}$, pour $t = 0$. Prenons la dérivée $k^{\text{ième}}$, nous avons pour $t = 0$

$$Y_0^{(k)} = \sum \frac{F'(x_0)}{x_0 - z} \frac{z^k}{F'(z)}.$$

Mais la formule de décomposition des fractions rationnelles en fractions simples donne, pour $k < n$

$$\frac{x_0^k}{F(x_0)} = \sum \frac{z^k}{F'(z)} \times \frac{1}{x_0 - z}, \quad k < n.$$

Or cette formule est une identité ; si on la met sous forme entière par rapport à la variable x_0, les coefficients des diverses puissances de x_0 doivent être les mêmes dans les deux membres ; l'identité subsistera donc si je remplace $x'_0, x_0^2, x^3 \ldots x_0^{n-1}$ et $x^0{}_0$ par des arbitraires $x'_0, x''_0 \ldots x_0^{(n-1)}$ et x_0

je puis donc écrire symboliquement

$$x_0^k \equiv \sum \frac{z^k}{F'(z)} \times \frac{F(x_0)}{x_0 - z}.$$

Mais alors la comparaison avec l'autre équation symbolique en $Y^{(k)}$ montre qu'on a

$$Y_0^{(k)} = x_0^{(k)}.$$

Cela prouve que Y et ses dérivées prennent les valeurs initiales désirées. Le calcul algébrique direct vérifie aisément cette conclusion.

13° **Conclusion.** — En résumé, la solution générale de l'équation différentielle à coefficients constants et à second membre sera

$$x = X + Y,$$

avec les conditions initiales qui ont été données.

Le système partant d'un état de mouvement arbitraire, cette solution est plus générale que celle d'Heaviside. C'est pour cette raison que nous l'indiquons.

J.-B. Pomey,
Ingénieur en chef des Télégraphes.

Digitized by Google

Sur une nouvelle méthode de mesure des températures élevées (d'après la coloration de la lumière émise par le corps incandescent)

Dans cet article, M. Boutaric expose le principe d'une nouvelle méthode d'évaluation des températures élevées d'après la coloration de la lumière émise par le corps incandescent. La méthode d'application, extrêmement simple, nécessite seulement la mise en œuvre d'un photomètre et d'une lampe préalablement étalonnée.

I. — **Historique**. — La méthode optique a été la première méthode utilisée pour repérer approximativement les hautes températures. Dès l'origine de l'industrie métallurgique, les ouvriers ont, en effet, pris l'habitude d'évaluer la température des corps fortement chauffés par les couleurs qui caractérisent les divers degrés d'incandescence, depuis le rouge naissant jusqu'au blanc éblouissant. Pouillet (1) a même donné une apparence de précision à la méthode en déterminant, au moyen de son pyromètre à air, les températures exprimées en degrés centigrades qui correspondent à ces différentes teintes :

Rouge naissant	525°
Rouge sombre	700
Cerise naissant	800
Cerise	900
Cerise clair	1 000
Orangé foncé	1 100
Orangé clair	1 200
Blanc	1 300
Blanc soudant	1 400
Blanc éblouissant	1 500 à 1 600

Il est douteux que des personnes même très exercées puissent apprécier les hautes températures avec quelque approximation au moyen du tableau précédent, même en prenant la précaution indiquée par Pouillet de regarder le corps incandescent à travers un tube, afin de diminuer l'influence de la lumière latérale.

Depuis Pouillet l'évaluation optique des températures élevées a fait des progrès considérables que nous n'avons d'ailleurs pas l'intention de rappeler ici. Mais ces progrès n'ont pas été réalisés dans la voie tracée par Pouillet : ce n'est pas sur la coloration des corps incandescents que reposent les méthodes pyrométriques mises en œuvre jusqu'ici, mais sur l'intensité du rayonnement total ou du rayonnement émis pour certaines longueurs d'onde.

On a repris récemment l'idée de Pouillet en tenant compte des progrès de la théorie et des perfectionnements de la technique. On a proposé de déterminer la température des corps incandescents en comparant la coloration de leur lumière à celle de sources dont la température est aisée à évaluer et à régler : on fait varier la température et, par suite, la coloration de la source étalon jusqu'à ce que cette coloration soit la même que celle du corps incandescent; la température de l'étalon fait alors connaître celle du corps incandescent. La méthode est extrêmement simple. Elle a déjà donné des résultats intéressants et peut-être a-t-elle un certain avenir. Aussi avons-nous cru utile de la faire connaître à nos lecteurs en utilisant largement les données d'un travail de MM. Paterson et Dudding (1) — qui n'a pas été, à notre connaissance, présenté au public scientifique français — et tenant compte, d'autre part, des travaux plus récents.

II. — **Principe de la méthode**. — Sauf dans le cas d'un radiateur monochromatique, la coloration de la lumière émise par une source dépend des proportions relatives des diverses radiations qui le constituent et, par suite, de sa température.

1° Considérons deux sources qui soient chacune un radiateur intégral (corps noir). La répartition de l'énergie dans le spectre lumineux et par suite la coloration de chaque source dépendent de la température. Si donc nous comparons les deux sources avec un photomètre, les plages n'auront la même coloration que lorsque les sources seront à la même température. Sinon la plage correspondant à la source dont la température est la plus élevée paraîtra bleue par rapport à l'autre.

2° A la vérité, le rayonnement de la plupart des corps incandescents est plus ou moins sélectif, ce qui paraît compliquer les choses. Toutefois, la plupart des métaux incandescents se comportent, *à l'intérieur du spectre visible*, comme des *corps gris*, c'est-à-dire que les ordonnées de la courbe représentant la répartition de l'énergie dans le spectre sont, pour les radiations visibles, une fraction constante des ordonnées relatives au corps noir, *pris à la même température* (2). La lumière émise

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, t. III, p. 782.

(1) *Philosophical Magazine*, juillet 1915, t. XXX, p. 34.

(2) Ainsi, pour la plupart des métaux incandescents, le rayonnement qui est *sélectif* par rapport à l'ensemble du spectre visible (en ce sens que le rapport du rayonnement visible au rayonnement total est plus grand que pour le corps noir pris à la même température) possède à l'intérieur de ce spectre visible une composition voisine de celle que donne le corps noir, en sorte que le métal incandescent se comporte comme un *corps gris* : c'est ce qu'on a pu établir au moyen de comparaisons spectrophotométriques.

Digitized by Google

par un filament de tungstène, par exemple, aura donc la même coloration que celle d'un corps noir pris à la même température; si les températures diffèrent, les colorations ne sont plus identiques et dans un photomètre, la plage correspondant à la source dont la température est la plus élevée paraîtra bleue par rapport à l'autre.

Supposons maintenant qu'on dispose d'une source étalon E dont la température puisse être modifiée à volonté et soit connue. Pour évaluer la température d'une source S, on fera varier la température de l'étalon jusqu'à ce que la coloration des plages que fournissent les deux sources dans un photomètre soit la même. Quand cette condition sera réalisée, la température de l'étalon E fera connaître celle de la source S.

En résumé, on prend comme température du corps incandescent la température du corps noir dont le rayonnement visible possède la même teinte que celui du corps étudié. Aussi quelques auteurs désignent-ils cette température sous le nom de *température colorée* pour calquer l'expression de *température noire* qui est réservée au cas où l'on prend comme température du corps incandescent celle du corps noir qui rayonne le même nombre de watts dans tout l'ensemble du spectre. En réalité, pour une source qui fournit un rayonnement sélectif, la *température noire* est forcément inférieure à la température vraie, tandis que la *température colorée* pourra être égale à la température vraie si le corps incandescent se comporte comme un corps gris pour l'ensemble des radiations visibles. La méthode sera donc d'autant plus précise que les radiateurs considérés se rapprocheront davantage du corps gris au point de vue de leur rayonnement dans le spectre visible.

III. — **Etalons de coloration pour la mesure des températures.** — Bien que la méthode de comparaison des couleurs au moyen du photomètre Lummer-Brodhun ait été utilisée depuis quelques années pour l'étude des lampes à incandescence par divers observateurs, on ne s'imagine généralement pas combien ces comparaisons sont rapides et faciles. Morris, Stroud et Ellis (1) ont employé cette méthode en 1907 et E.-P. Hyde (2) en a fait un grand usage dans ses recherches sur l'émission sélective des corps incandescents. D'après Hyde l'identité de coloration d'une substance rayonnante quelconque avec un corps noir peut être considérée comme indiquant que la température du corps noir est égale ou supérieure à celle de la substance, mais il exprime l'opinion que deux sources peuvent fournir un rayonnement de même coloration sans être pour cela à la même température, point sur lequel nous reviendrons plus loin.

Le dispositif utilisé pour les comparaisons est représenté sur la figure 1. Le corps noir A peut être chauffé dans un four électrique jusqu'à 2 200° C ; un courant d'azote introduit par K sert à l'entraînement des fumées.

(1) Morris, Stroud et Ellis. *Electrician*, t. LIX, p. 584.
(2) Hyde, Cady et Middlekauff. *T. I. E. S.*, t. IX, 1909, p. 334 ; Hyde, *Astrophys. Journ.*, t. XXXVI, 1912, p. 89.

Le diaphragme B muni d'une lame de verre ne laisse passer vers le banc photométrique que la lumière émise par le centre de la surface incandescente. Les écrans J arrêtent toute lumière étrangère. En C se trouve une

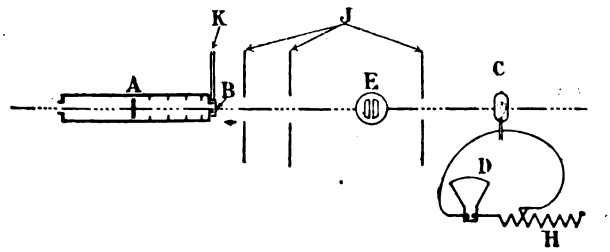


Fig. 1. — Disposition des appareils utilisés pour obtenir les relations entre l'intensité du courant traversant les lampes à filament de carbone ou de tungstène et la température du radiateur intégral, lorsqu'est réalisée l'égalité de coloration des rayonnements.

lampe électrique traversée par un courant dont l'intensité est réglée au moyen du rhéostat H et mesurée par l'ampèremètre D. Entre les deux sources, en E, est disposé le photomètre Lummer-Brodhun utilisé ici, non pour comparer les intensités des deux sources A et C, mais pour déterminer à quel moment est réalisée l'identité de coloration.

Avant et après chaque comparaison de couleur, on mesure la température du corps noir au moyen de deux pyromètres optiques, un pyromètre Siemens et un pyromètre Féry. Dans les expériences de MM. Paterson et Dudding les déterminations étaient répétées par deux observateurs et c'est la moyenne des résultats qui a été utilisée.

On porte d'abord le four à une température relativement basse et on règle le dispositif de chauffage de

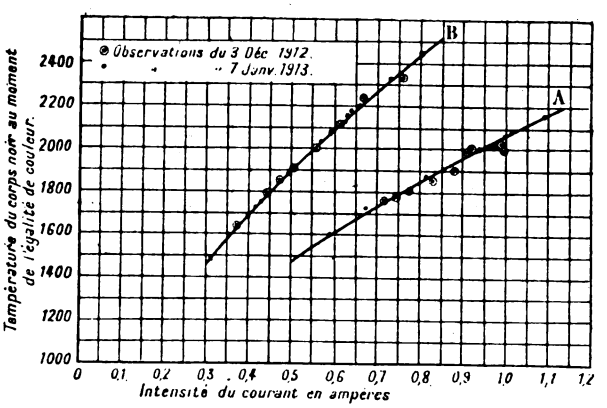


Fig. 2. — Courbes représentant la variation du courant dans les lampes en fonction de la température du radiateur intégral lorsque l'égalité de coloration des rayonnements est réalisée.

manière à maintenir la température constante pendant tout le temps nécessaire aux lectures photométriques En agissant sur le rhéostat H, on fait varier la teinte de la lampe C jusqu'à ce que soit réalisée l'identité de colora-

Digitized by Google

tion des plages photométriques ; il est naturellement nécessaire d'avoir, auparavant, réalisé l'égalité d'éclairement des mêmes plages.

On répète les mêmes opérations pour des températures du four allant en croissant jusqu'à 2 200° environ.

On a calibré par cette méthode une lampe à filament de carbone et une lampe à filament de tungstène. Ces deux lampes constituent des étalons secondaires de couleur au moyen desquels on peut étudier n'importe quelle lampe à incandescence.

La figure 2 représente la courbe reliant le courant à la température pour les deux étalons.

D'après MM. Paterson et Dudding, la sensibilité de cette méthode serait supérieure à celle des pyromètres optiques.

Les mêmes auteurs ont utilisé les étalons secondaires ainsi définis pour étudier le rendement des lampes à incandescence en fonction de la température, évaluer la température des filaments des lampes et celle du platine en fusion, et déterminer la coloration de l'étalon Violle. Ce sont ces résultats que nous allons brièvement résumer.

IV. — **Etude du rendement des lampes à incandescence en fonction de la température.** — Résultats expérimentaux. — MM. Paterson et Dudding ont étudié au moyen de leur méthode un grand nombre de lampes à filament de carbone ou de tungstène. Les lampes à carbone étaient à filaments métallisés ou non. Les lampes à tungstène étaient à filaments pressés et filaments étirés, de longueurs et de diamètres différents, en sorte que l'influence du refroidissement des extrémités par les électrodes, si elle était appréciable, ne devait pas être la même dans tous les cas et devait conduire à des résultats divergents.

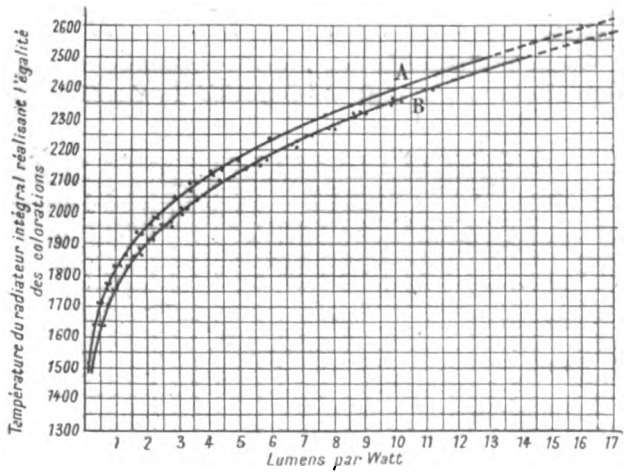


Fig. 3. — Courbes représentant le rendement des lampes (en lumens par watt) en fonction de la température du radiateur intégral donnant un rayonnement de même teinte. La courbe A est relative aux lampes à filament de tungstène (lampe à vide).

MM. Paterson et Dudding ont mesuré le nombre de lumens par watt pour différentes températures. Les résultats sont résumés dans les courbes de la figure 3. On voit que tous les points relatifs aux diverses lampes appartenant à un même type général sont très sensiblement sur la même courbe, ce qui légitime la méthode : les écarts entre la température observée et la température déduite de la courbe moyenne dépassent en effet rarement 1 pour 100. Il en résulte que, pour toutes les lampes d'un même type (lampe à filament de tungstène dans le vide ou lampe à filament de carbone), la couleur du rayonnement global, y compris celui des extrémités plus ou moins refroidies, est une fonction du rendement. La détermination du rendement d'une lampe fait donc connaître la température du corps noir qui donne un rayonnement de même coloration.

Sur la figure 4 on a représenté, pour diverses lampes, les logarithmes de la puissance consommée évaluée en

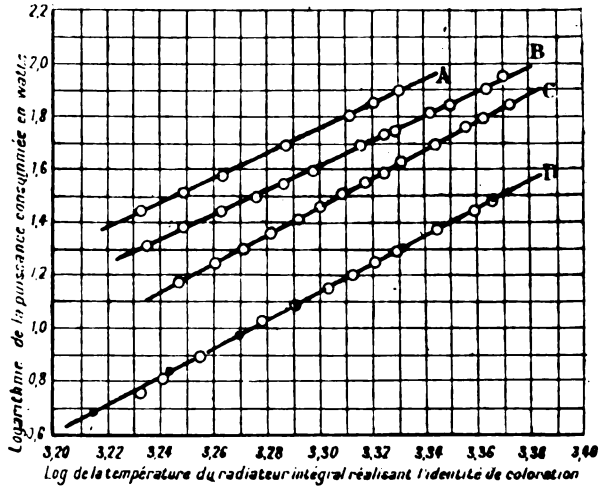


Fig. 4. — Courbes représentant la puissance consommée en fonction de la température évaluée par la nouvelle méthode. Les courbes A et B sont relatives à des lampes à filament de carbone ; les courbes C et D, à des lampes à filament de tungstène.

watts, en fonction du logarithme de la température mesurée par la méthode de l'égalité des colorations. Jusqu'aux températures extrêmes les points se placent sur une même droite pour chaque lampe, ce qui conduit à exprimer la puissance consommée en fonction de la température par une formule exponentielle.

La relation entre la puissance W en watts et la température absolue T serait, d'après MM. Paterson et Dudding,

$$W = k_1 T^{5,5},$$

pour les lampes à filament de carbone, et

$$W = k_2 T^{5,1},$$

pour les lampes à filament de tungstène.

Dans des recherches plus récentes, Hyde, Cady et Forsythe (1) ont obtenu pour l'exposant de T des

(1) E.-P. Hyde, F.-E. Cady et W.-E. Forsythe. *Physical Review*, 1917, 2e série, t. x, p. 408 ; *R. E.*, 6 juillet 1916, p. 24.

Digitized by Google

valeurs un peu inférieures et qui semblent aller en décroissant légèrement quand la température s'élève.

Considérations théoriques. — Il est intéressant d'établir, à partir des données qu'on possède sur les lampes à incandescence, une relation entre le nombre de lumens par watt que fournit une lampe et la température du filament et de voir jusqu'à quel point les déterminations expérimentales précédentes s'accordent avec la théorie.

On peut donc se proposer d'étudier comment varie, avec la température, la puissance rayonnée par la lampe et comment varie son action sur la rétine.

On sait que l'œil n'est sensible qu'à une faible partie de l'énergie rayonnée, celle émise par les longueurs d'onde comprises entre 0,3 μ et 0,8 μ : dans cet intervalle l'activité physiologique est proportionnelle à un certain facteur, appelé coefficient de luminosité, qui varie avec la longueur d'onde. C'est l'action résultante sur l'œil de l'ensemble des radiations constituant un flux lumineux complexe que mesure l'intensité exprimée en lumens.

Il faut donc trouver une relation entre le nombre de lumens produits et la température du corps rayonnant, faisant intervenir la distribution de l'énergie dans le spectre visible et le coefficient de luminosité pour les diverses longueurs d'onde.

L'étude théorique du problème se subdivise ainsi naturellement en trois parties :

a) Energie rayonnée par la source aux différentes températures ;

b) Distribution quantitative de cette énergie dans le spectre à toute température, surtout pour la partie du spectre qui excite la sensation lumineuse ;

c) Introduction du coefficient de luminosité ou visibilité.

1. *Relation entre l'énergie rayonnée et la température.* — On a déjà appelé l'attention sur les courbes traduisant la relation entre la puissance dissipée par une lampe et sa température déduite de l'égalité des colorations avec le corps noir. Un grand nombre de lampes de modèle courant ont été examinées. Dans tous les cas les résultats peuvent s'exprimer par une relation de la forme,

$$W = k T^m \tag{1}$$

$$\log W = \log k + m \log T, \tag{1bis}$$

W désignant l'énergie rayonnée, T la température absolue et m un coefficient variant entre 4,5 et 4,6 pour les lampes à filament de carbone et entre 5,05 et 5,2 pour les lampes à filament de tungstène. Le coefficient k dépend des dimensions de la lampe et de sa constitution.

Les résultats expérimentaux ne s'écartent pas de la courbe correspondant à l'équation (1), entre 1 700 et 2 300° absorbés.

La relation (1) rappelle celle de Stefan et Boltzmann relative au corps noir (m est alors égal à 4).

2. *Répartition de l'énergie rayonnée dans le spectre.* — Dans le cas du corps noir idéal on sait que l'énergie rayonnée en fonction de la longueur d'onde dans le spectre visible, au-dessous de 3 000°, peut être exprimée par la loi de Wien

$$E_\lambda = c_1 \lambda^{-n} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}},$$

E_λ désignant l'intensité pour la longueur d'onde λ, à $T°$, c_1 et c_2 des constantes, n un coefficient égal à 5 dans le cas du corps noir.

Comme on le verra par les expériences décrites dans le chapitre suivant d'après lesquelles la coloration de la lumière émise par le platine fondu est identique à celle du corps noir porté à la même température, il est raisonnable de supposer que la répartition des intensités, au moins dans le spectre visible, peut être représentée par une formule analogue pour les diverses sources lumineuses. Lummer et Pringsheim ont trouvé qu'il en est bien ainsi pour les sources possédant les caractères du platine.

Quand on se limite au spectre visible, on voit que les valeurs de c_1, c_2, n, peuvent varier notablement sans que la forme de la courbe soit affectée d'une manière suffisante pour entraîner une différence de température de 10° C au voisinage de 2 000° C.

3. *Sensibilité de l'œil aux différentes radiations.* — En étudiant un grand nombre d'individus, Nutting (1) a obtenu des données exprimant la sensation produite par l'unité de puissance prise sous forme d'un rayonnement monochromatique, en fonction de la longueur d'onde ou visibilité. Il exprime ses résultats sous la forme

$$V_\lambda = V_m \left(\frac{\lambda_m}{\lambda}\right)^\alpha e^{\alpha\left(1-\frac{\lambda_m}{\lambda}\right)},$$

V_m désignant la valeur photométrique de l'unité de puissance pour un rayonnement de longueur d'onde λ_m correspondant à la sensibilité maximum, V_λ la valeur photométrique de la longueur d'onde, α une constante et e la base des logarithmes népériens.

Pour les intensités lumineuses habituellement utilisées en photométrie, on a

$$\alpha = 181, \quad \lambda_m = 0{,}55\ \mu.$$

En combinant les formules relatives à la répartition de l'énergie dans le spectre et à la visibilité V_λ, on obtient comme expression de la valeur photométrique de la puissance rayonnée sous la longueur d'onde λ, $E_\lambda V_\lambda$, et comme valeur photométrique de la puissance rayonnée totale

$$L = \int_0^\infty E_\lambda . V_\lambda . d\lambda. \tag{4}$$

En représentant par

$$E_\lambda = P \lambda^{-n} e^{-\frac{Q}{\lambda T}},$$

la répartition de l'énergie en fonction de la température

(1) Nutting, *Bulletin of the Bureau of Standards*, t. v, p. 261 et t. vi, p. 337 ; *R. G. E.*, 9 juin 1917, t. i, p. 896.

Digitized by Google

et de la longueur d'onde, Nutting montre que l'équation (4) devient

$$(6) \qquad L = A\left(1 + \frac{B}{T}\right)^{-\rho},$$

L désignant toujours la valeur photométrique en lumens de la puissance totale rayonnée à la température T_0. Les constantes A, B et ρ représentent les expressions suivantes :

$$A = P V_m \lambda^a{}_m e(a\lambda_m)^{-\rho}.\Gamma(\rho),$$
$$B = \frac{Q}{a\lambda_m},$$
$$\rho = n + \alpha - 1.$$

En combinant l'équation (6) avec l'équation (1) qui donne la puissance rayonnée totale en fonction de la température, on obtient la relation entre le nombre de lumens par watt ou rendement lumineux et la température

$$(7) \qquad \frac{L}{W} = A_1\left(1 + \frac{B}{T}\right)^{-\rho} T^{-m},$$

qui devient, en passant aux logarithmes,

$$(7^{bis}) \quad \log\frac{L}{W} = C - m\log T - \rho\log\left(1 + \frac{B}{T}\right).$$

Les résultats expérimentaux représentés sur la figure 3 conduisent aux équations numériques suivantes :

Pour les lampes à filament de carbone,

$$(8) \quad \log_{10}\frac{L}{W} = 21{,}51 - 4{,}58\log_{10}T - 185\log_{10}\left(1 + \frac{155}{T}\right),$$

pour les lampes à filament de tungstène,

$$\log_{10}\frac{L}{W} = 23{,}31 - 5{,}1\log_{10}T - 185\log_{10}\left(1 + \frac{155}{T}\right).$$

Les courbes tracées sur la figure 3 sont celles représentées par ces équations : l'écart des points provenant des déterminations directes dépasse rarement 2 pour 100 et il reste le plus souvent inférieur à 1 pour 100 ; il est de l'ordre des erreurs d'expérience. On verra plus loin qu'une extrapolation de la courbe relative au tungstène au moyen de l'équation (9) conduit à une valeur du point de fusion du tungstène qui n'est pas en désaccord avec celle obtenue par d'autres méthodes.

Les formules indiquent également que le maximum du rendement doit se produire vers 6000° C, ce qui est tout à fait d'accord avec les théories admises.

L'accord que nous venons de constater entre les résultats expérimentaux et les théories générales semble légitimer le principe même de l'évaluation des températures par les comparaisons de coloration.

V. — **Température des filaments des lampes à incandescence et point de fusion du platine.** — Les expériences précédentes supposent que la température évaluée en comparant la teinte de la lumière émise par le corps incandescent à celle d'un radiateur intégral est très voisine de la température vraie, bien que les conditions du rayonnement soient toutes différentes. C'est cette hypothèse que nous allons soumettre à un examen approfondi dans le cas des filaments incandescents et du platine fondu en comparant les résultats fournis par la nouvelle méthode à ceux antérieurement obtenus.

1. En ce qui concerne la détermination des températures des filaments dans les lampes à incandescence, on peut utiliser les résultats de Forsythe [1], de Pirani et Meyer [2] et ceux de Langmuir [3] qui sont donnés sous des formes comparables.

Dans quelques autres déterminations que l'on possède, il n'est pas fait mention du nombre de watts par bougie ou du nombre de lumens par watt des lampes étudiées. Parfois aussi la température déterminée est la température efficace, c'est-à-dire la température du radiateur intégral qui donnerait la même énergie que le filament étudié. Ces résultats ne peuvent être directement utilisés.

Le tableau I permet de comparer les résultats obtenus par MM. Paterson et Dudding avec ceux de Forsythe, de Pirani et Meyer. Forsythe et Pirani n'ont mesuré que l'intensité horizontale moyenne de leurs lampes; l'intensité sphérique moyenne a été déduite en multipliant l'intensité horizontale par 0,85 pour les filaments de carbone et par 0,79 pour les filaments de tungstène.

Tableau I.

NATURE DU FILAMENT	LUMENS PAR WATT	TEMPÉRATURE VRAIE DU FILAMENT EN DEGRÉS C		
		Forsythe.	Pirani et Meyer.	Paterson et Dudding.
Tungstène...	8,05	1 980	2 069	2 010
	8,15	1 984	2 072	2 014
	8,44	2 008	2 084	2 027
	8,83	2 020	2 100	2 041
	9,06	2 025	2 109	2 051
	8,88	2 035	2 101	2 044
	9,36	2 040	2 121	2 063
Carbone	3,52	1 820	1 935	1 818
	3,95	1 847	1 966	1 846
	3 94	1 843	1 965	1 845

Les résultats de MM. Paterson et Dudding sont en bon accord avec ceux qu'a obtenus Forsythe en utilisant les méthodes optiques habituelles, aussi bien pour le filament de carbone dont l'émission n'est pas sélective que pour celui de tungstène doué d'une émission sélective. Les nombres de Pirani et Meyer sont notablement supérieurs à ceux de Forsythe et, par suite, supérieurs également à ceux que donne la nouvelle méthode; ce

(1) *Phys. Rev.*, t. XXXIV, 1912.
(2) *E. T. Z.*, 1912, p. 457 et p. 725.
(3) *Proc. of A. I. E. J.*, t. XXXII, p. 1895.

Digitized by Google

désaccord peut être attribué, en grande partie, à l'échelle des températures adoptée par Pirani, échelle qui fournit comme température de fusion du platine : 1790° C.

Quant aux résultats de Langmuir, ils s'accordent à 2 pour 100 près avec ceux qu'on peut obtenir par extrapolation des courbes de la figure (3) au moyen des équations (8) et (9).

2. Pour s'assurer que la nouvelle méthode d'évaluation des températures élevées s'applique aux substances autres que le carbone, il est nécessaire de connaître la température vraie de quelques filaments incandescents. La température de fusion du platine est 1750° ± 20° C. Si l'on pouvait élever graduellement, au moyen du courant électrique, la température d'un filament de platine jusqu'au point de fusion et comparer le filament au moment de la fusion, avec un des étalons de coloration, on aurait ainsi la valeur de la température de fusion que fournit la nouvelle méthode ; d'où un nouveau moyen de contrôle, d'autant plus intéressant que le platine rayonnant librement possède une émission nettement sélective.

La seule précaution nécessaire est de prendre une bonne longueur de fil de platine et de n'en utiliser que la portion centrale afin d'éliminer l'influence refroidissante des extrémités. Les expériences ont porté sur un fil n° 25, de 13 cm de long, mais dont on n'observait que 5 cm le reste étant voilé par un écran ; les comparaisons ont été faites simultanément avec un étalon de tungstène et un de carbone. On augmente graduellement le courant dans le fil de platine ainsi que dans les étalons, de manière à maintenir l'identité de coloration des plages photométriques jusqu'à la température de fusion du platine.

La moyenne de 15 déterminations a donné comme température de fusion du platine :

1750° C par comparaison avec la lampe à filament de carbone.

1773° C par comparaison avec la lampe à filament de tungstène.

Ces résultats sont suffisamment approchés de la valeur actuellement admise : 1750° pour légitimer la nouvelle méthode de détermination des températures élevées.

3. MM. Paterson et Dudding ont appliqué cette méthode à la détermination de la température des filaments dans les lampes à atmosphère gazeuse.

Dans ce cas, la relation entre le nombre de lumens par watt et la température ne peut pas être la même que pour les lampes à vide ordinaires, à cause du nombre considérable de watts que le filament perd par convection. Cette convection dépend d'ailleurs notablement de la densité du gaz et du diamètre de l'ampoule.

Les courbes de la figure 5 permettent de comparer le nombre de watts dépensés par bougie sphérique moyenne pour divers modèles de lampes à atmosphère gazeuse, et pour la lampe à vide utilisée comme étalon, quand l'identité de coloration des rayonnements est réalisée et, par suite, que les températures sont très sensiblement les mêmes. Les comparaisons ont été poursuivies jusqu'à une consommation de 0,75 watt par bougie sphérique moyenne dans le cas de la lampe à vide et d'environ 0,9 watt par bougie moyenne sphérique pour la lampe à atmosphère gazeuse. Les écarts considérables entre les différentes courbes doivent être attribués aux quantités variables de gaz contenues dans les ampoules

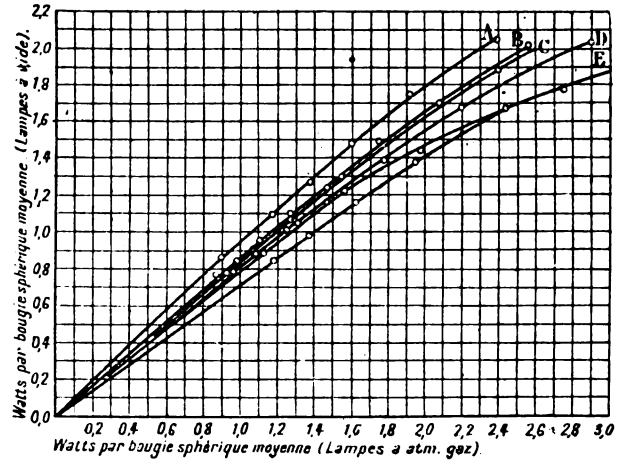


Fig. 5. — Courbes représentant la relation entre les consommations spécifiques des lampes à vide et des lampes à atmosphère gazeuse.

et aux diamètres variables des filaments et des spirales.

Les courbes ont été extrapolées de manière à passer par l'origine du graphique. On voit que les points se répartissent sur une ligne droite passant par l'origine, exception faite de ceux qui correspondent à de faibles rendements.

La consommation des lampes à atmosphère gazeuse pratiquement utilisées est d'environ 0,7 watt par bougie, consommation qui correspond à l'égalité de coloration du rayonnement avec celui d'une lampe à vide de 0,5 watt par bougie sphérique moyenne (soit approximativent 2 lumens par watt). Les courbes de la figure 3 conduisent alors à admettre 2800° C comme température du tungstène dans les lampes à atmosphère gazeuse.

En « poussant » les lampes « demi-watt », on peut les faire fonctionner pendant de courts intervalles de temps sous des consommations de 0,40 watt par bougie sphérique moyenne et elles correspondent alors à des lampes à vide de 0,32 watt par bougie, soit approximativement 40 lumens par watt. La formule (9) conduit, pour cette valeur du rendement, à une température du filament de 3100° absolus. Il est, par suite, évident que le point de fusion du tungstène doit être supérieur à ce nombre sans qu'on puisse dire de combien avec certitude.

Les lampes de comparaison utilisées sont elles-mêmes des lampes à vide à filament de tungstène. Vers 3000° absolus, les ampoules noircissent rapidement et ce

Digitized by Google

noircissement peut conduire à des erreurs si l'on pousse la lampe jusqu'au point de fusion du filament. La détermination de la température de fusion du tungstène ne peut donc être effectuée par cette méthode qu'en prenant des précautions pour éviter les erreurs dues au noircissement de l'ampoule. On rendra les expériences plus précises en étalonnant les lampes à atmosphère gazeuse par comparaison directe avec le corps noir.

Burgess et Le Châtelier indiquent comme température de fusion du tungstène 3 000° ± 100° C et Langmuir 3 267° ± 30° C. Les expériences que nous venons de rapporter conduisent à des valeurs sensiblement concordantes.

VI. — **Coloration de la lumière émise par l'étalon Violle.** — On conçoit combien est importante au point de vue des comparaisons photométriques la coloration de la lumière des sources utilisées comme étalons.

L'accroissement du rendement des sources lumineuses actuelles tient, en partie tout au moins, à une élévation de la température de fonctionnement. La lumière de ces sources tend à comprendre une proportion de plus en plus grande de radiations de courtes longueurs d'onde. Il est donc important que le rayonnement des étalons soit également riche en ces radiations.

D'après MM. Paterson et Dudding la coloration de la lumière émise par la lampe Hefner correspond à celle d'un radiateur intégral porté à 1 540°C ; la couleur d'une lampe pentane à celle du même radiateur porté à 1 610°C.

L'étalon Violle, constitué par du platine en fusion à la température de 1 750°C émet une lumière dont la coloration est celle d'une lampe à incandescence à filament de carbone ayant un rendement de 2,65 lumens par watt, ce qui correspond à une consommation de 4,75 w par bougie sphérique moyenne, soit, en admettant comme facteur de réduction 0,85, une consommation spécifique de 3,8 w par bougie horizontale moyenne.

VII. — **Conclusion : Valeur de la méthode proposée.** — Les résultats que nous venons d'exposer constituent un ensemble cohérent. Ce n'est pas suffisant pour les justifier. Aussi allons-nous indiquer, en terminant, ce que l'on peut reprocher : 1° au principe même de la méthode ; 2° à la façon dont elle a été mise en œuvre par MM. Paterson et Dudding.

L'hypothèse fondamentale de la méthode est qu'un corps noir et un métal incandescent, par exemple du platine, portés à la même température donneront la même coloration des plages d'un photomètre même quand le métal rayonne librement, c'est-à-dire sans être enfermé dans une enceinte close. Cela tient à ce que, dans le spectre visible, les métaux incandescents, en particulier le platine, se comportent comme des corps gris, c'est-à-dire que, pour toutes les longueurs d'onde, l'intensité est une fraction constante de l'intensité du corps noir. Si l'émission dans le spectre visible était sélective vers les courtes longueurs d'onde, la température obtenue par l'égalisation des couleurs serait légèrement trop élevée ; elle serait trop faible si l'émission sélective s'exerçait vers le rouge.

On sait en réalité peu de chose touchant l'écart du rayonnement fourni par les substances métalliques à partir du rayonnement d'un corps gris dans la partie visible du spectre. Ces écarts semblent faibles et sont insuffisants, pensent MM. Paterson et Dudding, pour fausser les déterminations de la température obtenues par l'égalisation des couleurs.

C'est là un point qu'il serait nécessaire de vérifier directement. D'après MM. Hyde, Cady et Forsythe [1], la température déduite de l'égalisation des couleurs serait supérieure à la température vraie. A la vérité l'écart qu'indiquent ces auteurs, une quarantaine de degrés vers 2 600°C et une quinzaine de degrés vers 2 000°C est assez faible, et peu éloigné des erreurs expérimentales.

Sur la mise en œuvre même de la méthode par MM. Paterson et Dudding, on peut formuler quelques critiques. Hyde, Cady et Forsythe [2] remarquent que sur le dispositif de la figure 1, le verre utilisé en B a toujours un coefficient de transmission légèrement sélectif, ce qui introduit une source d'erreur ; de même l'absorption exercée par le verre des ampoules est toujours sélective. Dans le calcul du nombre de lumens par watt, les mêmes auteurs tiennent compte de l'action refroidissante des extrémités des filaments ainsi que du pouvoir absorbant du verre des ampoules sur le flux produit. Toutes ces corrections ne semblent pas négligeables ainsi que le montrent les résultats du tableau II.

Tableau II.

LUMENS PAR WATTS nombres bruts	TEMPÉRATURES nombres bruts	LUMENS PAR WATTS nombres corrigés	TEMPÉRATURES nombres corrigés
1,0	1 777° abs.	1,14	1 794° abs.
2,0	1 939	2,26	1 955
3,0	2 050	3,27	2 066
4,0	2 138	4,48	2 153
5,0	2 208	5,57	2 224
6,0	2 269	6,66	2 285
7,0	2 327	7,76	2 343
8,0	2 380	8,85	2 397
9,0	2 431	9,94	2 449

Sur les figures 6 et 7 on a reproduit les courbes qui représentent les températures des filaments de tungstène et de carbone en fonction du rendement des lampes, 1° d'après Hyde, Cady et Forsythe ; 2° d'après Paterson et Dudding. Aux températures élevées l'écart entre les deux courbes est assez notable ; pour les filaments de tungstène il atteint environ 85° aux températures voisines de 2 400° absolus, sans qu'on puisse en donner la raison.

(1) E.-P. Hyde, F.-E. Cady et W.-E. Forsythe *Physical Review*, 1917, 2e série, t. x, p. 405.
(2) *Loc. cit.* p. 400.

Digitized by Google

En résumé, la méthode d'évaluation des températures élevées que nous venons d'exposer nous paraît nécessiter encore quelques recherches. Il importe en effet de contrôler les hypothèses qui lui servent de base, et surtout d'en perfectionner la technique. Dès maintenant toutefois, elle apparaît comme intéressante et on peut penser qu'elle sera précieuse pour déterminer les températures d'incandescence et les températures de fusion de substances réfractaires auxquelles les méthodes optiques habituelles s'appliquent mal.

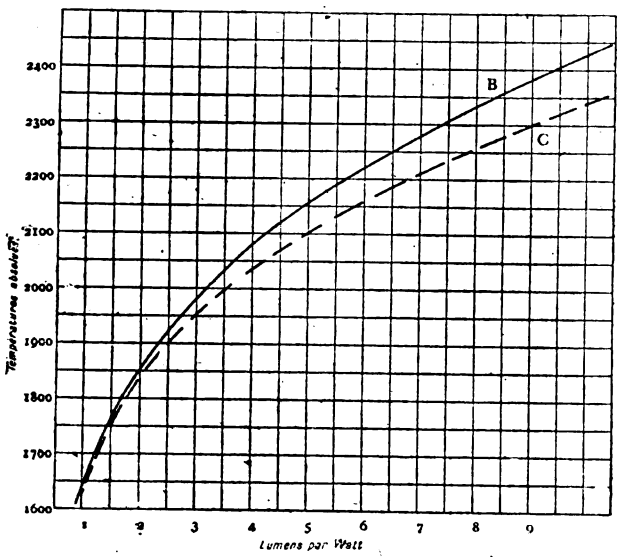


Fig. 6. — Relation entre la température et le rendement des lampes à filament de tungstène : B, résultats de Hyde, Cady et Forsythe; C, résultats de Paterson et Dudding.

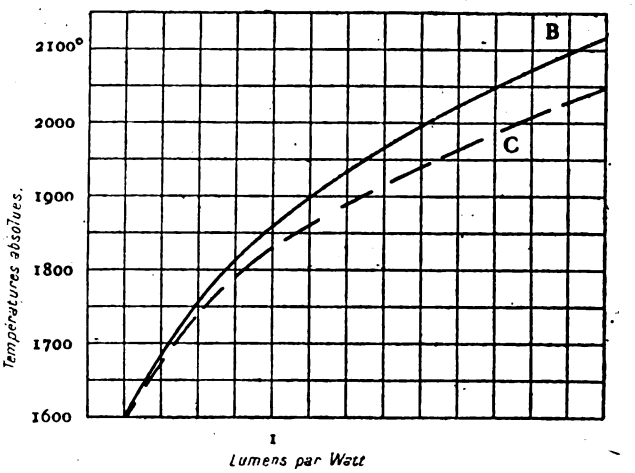


Fig. 7. — Relation entre la température et le rendement des lampes à filament de carbone : B résultats de Hyde, Cady et Forsythe; C, résultats de Paterson et Dudding.

A. Boutaric,
Agrégé de l'Université, docteur ès sciences, chargé d'un cours complémentaire d'Electricité industrielle à l'Université de Montpellier.

Revues, analyses et informations

Relation entre certains phénomènes galvanométriques (1).

Les divers phénomènes galvanométriques ont pour la plupart été étudiés séparément par des expérimentateurs différents et on ne semble pas s'être préoccupé d'établir entre-eux des relations exactes. L'expérience indique néanmoins l'existence d'une relation qualitative. Par exemple, l'effet Hall prend une grandeur anormale dans le bismuth; il en est de même des autres effets analogues. La forme de la relation n'est cependant pas simple : ainsi, dans le tellure l'effet Hall est très important tandis que les autres phénomènes n'ont pas une intensité correspondante.

Les trois principaux phénomènes galvanométriques sont l'effet Corbino, l'effet Hall et la variation de résistance éprouvée par les conducteurs dans un champ magnétique (Leduc). Les deux derniers sont relativement bien connus; le premier a été moins étudié. D'après Corbino, cet effet se produit quand on dispose dans un champ magnétique un disque circulaire plat qu'on fait traverser par un courant radial. Dans ces conditions, un courant circulaire prend naissance. A première vue il semble que l'effet Corbino ne soit qu'une modification de l'effet Hall; dans celui-ci on mesure une différence de potentiel tandis qu'on observe, dans l'effet Corbino, le courant produit par cette différence de potentiel. Jusqu'ici on n'avait cependant pas établi de relation quantitative exacte entre les deux phénomènes.

(1) C.-W. Heaps, *Physichal Review*, novembre 1918, 2e série, t. XII, p. 340-350, 1 fig. 1 tab.

Considérations théoriques. — Considérons deux champs électriques X et Y, agissant respectivement suivant l'axe des x et celui de y, et un champ magnétique H agissant suivant l'axe des y. Les équations du mouvement d'un électron sont

$$(1)\qquad \begin{cases} m\dfrac{d^2x}{dt^2} = Xe - He\dfrac{dy}{dt}, \\ m\dfrac{d^2y}{dt^2} = Ye + He\dfrac{dx}{dt}. \end{cases}$$

Admettant la théorie simple de Drude, on peut appliquer ces équations au cas de la conduction métallique et les résoudre par la méthode de Towsend. Ce sont, en fait les équations mêmes résolues par Towsend, au terme en Y près. Le résultat obtenu pour les vitesses respectives U et V des électrons le long des axes des x et des y est

$$(2)\qquad \begin{cases} U = \dfrac{eT}{m(1+\omega^2T^2)}(X - Y\omega T), \\ V = \dfrac{eT}{m(1+\omega^2T^2)}(Y + X\omega T), \end{cases}$$

où T est le temps de libre parcours et ω désignant l'expression $H\dfrac{e}{m}$. Ces équations peuvent être utilisées pour le calcul des divers effets galvanomagnétiques.

Considérons une plaque conductrice dont les dimensions

Digitized by Google

soient respectivement a, b et c suivant les axes des x, des y et des z. Quand $V = 0$ on a

$$Y = -X\omega T. = -UH.$$

Désignons par I_x la densité du courant le long de l'axe des x; on a alors (1)

$$I_x = \frac{2}{3} n e U b c,$$

où n désigne le nombre d'électrons libres par unité de volume et

$$(3) \qquad Yb = -\frac{3HI_x}{2nec} = \frac{RHI_x}{c}.$$

Le coefficient de Hall, R_1 est ainsi égal à $-\frac{3}{2} ne$.

Pour l'effet Corbino considérons un disque circulaire en métal de rayon r_2, portant en son centre une ouverture circulaire de rayon r_1. On fait passer dans le disque un courant radial I_r et on applique un champ magnétique H normalement au plan du disque. La différence de potentiel δV entre les bords d'un anneau élémentaire de largeur δr, à une distance r du centre, est

$$(4) \qquad \delta V = \frac{\rho I_r \delta r}{2\pi r.d},$$

d désignant l'épaisseur du disque et ρ sa résistance spécifique. Le champ électrique radial est ainsi

$$(5) \qquad X_r = \frac{\rho I_r}{2\pi r.d},$$

et comme il n'y a pas de champ électrique tangentiel appliqué, les équations (2) donnent la vitesse tangentielle des électrons.

$$(6) \qquad V_t = X_r \frac{e}{m} \frac{T\omega T}{1+\omega^2 T^2}.$$

Le courant tangentiel dans l'anneau élémentaire est

$$(7) \qquad \delta I_t = \frac{2}{3} n e V_t d.dr,$$

et le courant radial,

$$(8) \qquad I_r = \frac{2}{3} n e U_2 \pi r.d,$$

d'où

$$(9) \qquad \rho = \frac{3}{2} \frac{m}{ne^2} \frac{1+\omega^2 T^2}{T}.$$

Cette équation, combinée aux relations (5) et (6), permet d'intégrer l'équation (7); d'où

$$(10) \qquad I_t = \frac{HI_r Te}{2\pi m} \log \frac{r_2}{r_1}.$$

Cette expression est identique à celle de Corbino, à condition de remplacer $\frac{e}{m} T$ par la constante E de Corbino.

L'effet Hall et l'effet Corbino fournissent donc des renseignements sur deux concepts différents de la théorie de la conduction métallique : le nombre des électrons par unité de volume et le temps de libre parcours moyen de ces électrons. On ne peut donc pas s'attendre, en général à ce qu'il y ait correspondance entre le coefficient de Hall et le coefficient de Corbino. Pour obtenir une relation théorique, il faut procéder de la manière suivante :

Considérons une plaque conductrice ayant respectivement pour dimensions a, b, et c, suivant les axes x, y, z.

Eliminons Y entre les équations (2); on obtient

$$(11) \qquad V = \frac{X\frac{e}{m} T - U}{\omega T}.$$

Pour $V = 0$, posons $U = U_1$ et $X = X_1$. On a alors

$$\frac{e}{m} T = \frac{U_1}{X_1},$$

en sorte que,

$$(12) \qquad V = \frac{1}{\omega T}\left(\frac{XU_1}{X_1} - U\right).$$

Comme la densité du courant électrique est proportionnelle à la vitesse des électrons, on peut écrire

$$(13) \qquad i_y = \frac{1}{\omega T}\left(\frac{X}{X_1} i'_x - i_x\right),$$

où i_x et i_y désignent les densités respectives du courant suivant l'axe des x et suivant l'axe des y, et i'_x la valeur de i_x pour $i_y = 0$. Si l'on envoie dans une plaque de métal deux courants rectangulaires au moyen de batteries séparées et qu'on dispose la plaque dans un champ magnétique, i_x est égal à i_x aux erreurs d'observation près. L'équation (13) peut alors être mise sous la forme simplifiée.

$$(14) \qquad \omega T = \frac{i_x}{i_y} = \frac{X - X_1}{X_1}.$$

La résistivité de la plaque de métal le long de l'axe des x est donnée par $\rho = \frac{X}{i_x}$. Il est évident que $X - X_1$ représente la différence de potentiel de l'effet Hall ordinaire, bien qu'en général on mesure cet effet pour $X_1 = 0$. Le coefficient de Hall, R, est donné par la relation

$$X = X_1 = RHi_y,$$

en sorte que l'équation (14) devient

$$(15) \qquad E = \frac{e}{m} T = \frac{R}{\rho}.$$

Ainsi, le coefficient de l'effet Hall divisé par la résistivité du métal est égal au coefficient de l'effet Corbino.

Smith (1) et Chapman (2) ont comparé les valeurs de $E\rho$ et de R pour des métaux différents dans des champs magnétiques variables Il ne paraît pas étonnant que leurs résultats ne s'accordent pas exactement avec la relation (15). D'abord ils admettent que la valeur de ρ est indépendante de celle de H et bien que cette hypothèse puisse être légitime dans le cas de beaucoup de métaux, elle introduit une erreur dans le cas de métaux analogues au bismuth. En outre, en prenant les valeurs de ρ dans des tables au lieu de les déterminer expérimentalement, on introduit vraisemblablement une autre erreur.

Résultats expérimentaux. — L'auteur décrit une méthode expérimentale relativement simple permettant de mesurer les trois effets galvanométriques sur le même échantillon.

Il a constaté que dans le zinc et le cuivre, le coefficient de l'effet Corbino est probablement indépendant du champ magnétique Dans le bismuth, les trois effets galvanomagnétiques se comportent de la manière habituelle. Dans le graphite cristallisé, la résistance augmente rapidement avec le champ magnétique, le coefficient de l'effet Corbino diminue et celui de l'effet Hall augmente.

Suivant l'interprétation habituelle de ces trois phénomènes, on peut conclure que le nombre des électrons libres par unité de volume dans un métal peut être modifié par l'action d'un champ magnétique. La durée de libre parcours est également affectée Il semble donc qu'on doive tenir compte de ces deux facteurs quand on considère l'effet d'un champ magnétique sur la résistance. A. B.

(1) Smith. *Physical Review*, 1916, 2e série, t. VIII, p. 402.
(2) Chapman. *Phil. Mag.*, 1916, t. XXXII, p. 303.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

L'énergie hydraulique dans le Massif Central de la France

L'idée d'utiliser en grand l'énergie des cours d'eau des régions accidentées s'est surtout développée dans l'esprit de ceux — sans cesse plus nombreux — qui ont compris l'importance du transport électrique de l'énergie. L'initiateur de ce transport, feu Marcel Deprez, en fit même la première application pratique dans le Massif Central, aux environs de Bourganeuf.

Il était naturel que les premières grandes tentatives d'utilisation des chutes d'eau se fissent dans les pays les plus accidentés, de plus grande altitude, bien pourvus d'eau courante ou d'eau solidifiée, c'est-à-dire dans les Alpes, qui permettent d'obtenir facilement de hautes chutes et, conséquemment, de grandes puissances, par des travaux d'aménagement relativement peu importants et peu coûteux; car on avait là l'unité de puissance captée à un prix de revient minimum de première installation. Cependant, on ne tarda pas à revenir au Massif Central; on tenta de capter la puissance de quelques-uns de ses cours d'eau qui se prêtaient le mieux à cette opération, surtout de ceux qui étaient au voisinage de débouchés importants pour l'énergie captée : la Dore, la Sioule, la Dordogne supérieure, le Cher furent ainsi entrepris. Les résultats, quoique fort éloignés de ce que l'on est en droit d'attendre, ont été encourageants et les sociétés qui firent les premières usines hydro-électriques en ont fait d'autres depuis, ou se disposent à en faire.

La démonstration éclatante, fournie par la guerre, de l'extrême utilité de ces puissantes installations a fait naître depuis quelque temps de nombreux projets d'installations nouvelles; les auteurs de ces projets rivalisent d'audace dans leurs conceptions ; l'on expose au public des chiffres impressionnants qui ne reposent peut-être pas sur des données suffisamment bien établies. Il m'a paru utile de présenter aux lecteurs de la « R. G. E. » quelques indications générales propres à faire bien comprendre les conditions qu'offre le Massif Central pour la production hydraulique de l'énergie électrique.

Considérations géographiques. — Le Massif Central autrefois était appelé Plateau Central parce qu'une bonne partie peut être considérée comme un plateau. En effet, dans la partie occidentale principalement, pour peu que l'on se trouve éloigné des cours d'eau qui le drainent et en un point d'où le regard embrasse un vaste horizon, celui-ci forme une ligne continue; on a l'impression d'être dans une immense plaine, légèrement ondulée. Mais ce plateau présente de profondes et larges dépressions en certaines parties; sa surface est en outre rayée d'innombrables rainures étroites souvent très profondes aussi. Enfin, en certaines zones, il est surmonté de protubérances multiformes qui donnent à ces zones un caractère montagneux particulier. Cette sorte de plateau forme ce que les géographes appellent maintenant une *pénéplaine*.

Le plateau proprement dit est formé de roches primitives : schistes cristallins, granits, granulites, microgranulites, etc. Certains granits, ainsi que les granulites et microgranulites, se présentent en masses éruptives à travers les autres roches avec des surfaces d'affleurement d'étendue très diverses. Ces roches éruptives anciennes sont plus dures que les schistes cristallisés et les granits plus anciens: elles sont moins altérables par les agents atmosphériques et jouent, à cause de cela, un rôle important dans la topographie de la contrée au point de vue qui nous occupe.

La surface du plateau est, dans l'ensemble, inclinée faiblement vers le Nord et l'Ouest, de manière que la totalité de ses eaux est tributaire de l'Atlantique, par la Loire ou par la Gironde; elle se divise d'ailleurs en plusieurs zones de gauchissement à pente générale assez faible : 3 à 4 m : km.

Des environs de Montluçon au Mont Lozère, ou au Mézenc, il y a une différence de niveau d'environ 1 000 m et une distance de 250 km à vol d'oiseau.

Les protubérances que porte le plateau sont presque exclusivement formées de roches volcaniques dont la structure et la composition présentent une variété plus grande que dans toute autre région volcanique du monde; ce sont : la chaîne des Dômes, les Massifs du Mont-Dore, du Cézolier, du Cantal, de l'Aubrac, du Velay. Les plus hautes de ces masses avoisinent l'altitude 1 900 m.

Le fond des grandes dépressions — dont le type est la Limagne — et de quelques petites, est formé de sédiments relativement jeunes, tertiaires, incomparablement moins durs que les autres roches.

Digitized by Google

Le Plateau Central représente en réalité les racines d'un énorme massif montagneux que les érosions primaires et secondaires ont arasé peu à peu à un niveau voisin de celui des océans. Des dislocations ultérieures, des mouvements généraux de surrection et d'affaissement alternatifs, de nombreuses éruptions volcaniques, deux invasions glaciaires, l'érosion et la sédimentation des cours d'eau ont donné finalement un modelé très complexe à la surface du primitif plateau. Le trait dominant de ce modelé est l'existence des nombreuses rainures au fond desquelles coule l'eau non évaporée des précipitations atmosphériques. Ces rainures sont le produit de la très lente érosion par les cours d'eau; elles forment de nombreux méandres dus à des dislocations locales de faible étendue et à l'hétérogénéité des massifs rocheux.

Selon la règle générale, la pente d'un thalweg, dans une formation rocheuse donnée, diminue à mesure que le débit augmente, c'est-à-dire à mesure que le cours d'eau s'écarte de sa source. Pour les cours d'eau d'une certaine importance, la pente finale est à peu près égale à la pente générale du plateau : de 3 à 5 m : km.

Suivant la nature des roches creusées, la pente du thalweg est moindre, à débit égal, que dans les roches éruptives de moindre ancienneté; les talus des flancs de vallée, d'inégale inclinaison dans l'axe des méandres, ont en moyenne la pente de deux de hauteur pour trois de base. Le fond des vallées présente un lit majeur, alluvial, couvert par les rivières en crues, et un lit mineur où se concentre le flux en régime ordinaire; ce fond est relativement large, il dépasse quelquefois 200 m de dimension transversale.

Dans les masses de granulite et dans celles de granit, les moins anciennes, moins étendues que celles des vieux granits, la pente du thalweg est supérieure et peut devenir énorme - cascades; — le fond de vallée se réduit au lit mineur, très étroit, tourmenté et profond; les talus de bordure se réduisent souvent à des falaises presque verticales très rapprochées : la vallée est étranglée.

Les zones de roches moins dures forment des sortes de paliers; les autres constituent des seuils; il y a toujours rupture de pente au passage d'un système de roches à l'autre.

Au sud du plateau, où l'on trouve les roches primitives à la plus grande altitude et à peu de distance de roches secondaires, moins résistantes, certains cours d'eau présentent un accroissement considérable de la pente avant de se raccorder avec ceux qui coulent dans les roches moins dures.

Organisation des chutes. — Quand on parcourt le Massif Central à une époque où les eaux sont abondantes, l'on éprouve à la vue des torrents une impression de puissance énorme et, si peu que l'on ait une vague idée des applications modernes de l'électricité, on est vite hanté par l'idée de maîtriser cette fougue destructrice et de la faire servir à nos besoins de civilisés. Toutefois, quand on observe les mêmes cours d'eau à la fin d'un été sec — comme celui de 1918 — on est stupéfait de la disproportion existant entre le volume des minces filets d'eau qui y coulent et la section du lit majeur; alors, un sentiment d'inquiétude vous envahit pour la réussite de l'entreprise méditée lors des grandes eaux. Mais bientôt naît l'idée de constituer, pendant la période de forts débits, des réserves d'eau pour compenser le déficit de l'autre période. La topographie semble se prêter parfaitement à la constitution de ces réserves : la grande profondeur des vallées, leur pente souvent faible, l'existence d'étranglements correspondant aux pilons des roches éruptives anciennes très dures, semblent faits exprès pour ces ouvrages : la dureté des roches assure des fondations d'une inébranlable solidité et une qualité exceptionnelle de matériaux de construction à pied d'œuvre.

Tels furent les sentiments que j'éprouvai à mon arrivée dans la région, il y a environ trente ans. Je voulus dès lors avoir une idée de la puissance utilisable d'un cours d'eau caractéristique de cette région; j'étais d'autre part curieux de déterminer une sorte de cote d'irrégularité. Le Cher s'offrait pour cela à ma portée avec ses 1 800 km² de surface versante à Montluçon. Mais, à cette époque, la détermination des éléments essentiels inconnus présentait de trop grandes difficultés pour mes moyens personnels. Pour résoudre mon problème, il fallait en effet étudier séparément deux régimes; celui des précipitations atmosphériques, celui de la rivière, pour trouver, d'une part, le coefficient de ruissellement; d'autre part, la capacité des réservoirs régulateurs qui seraient nécessaires, en régime moyen, pour obtenir un débit constant à la sortie du bassin envisagé. Cette double détermination exigeait, en d'assez nombreux points du bassin versant, des observations pluviométriques poursuivies pendant un nombre d'années assez grand ; elle exigeait en outre, simultanément, des déterminations quotidiennes du débit de la rivière en un point convenablement choisi.

Les relations qui s'établissent à la longue entre un professeur de lycée et les familles de ses élèves me permirent de trouver dans le bassin du Haut-Cher, il y a une douzaine d'années, des observateurs bénévoles dont le zèle pluviométrique ne s'est pas démenti pour quelques uns pendant dix ans. D'autre part, la construction du barrage de Rochebut, non loin de Montluçon, mit à ma disposition un déversoir très régulier permettant de déterminer les débits quotidiens à l'aide des cotes de hauteur dans le réservoir relevées chaque jour en temps ordinaire, plusieurs fois par jour en crue. En outre, la connaissance de l'énergie produite chaque mois en kilowatts-heure ainsi que le rendement global de l'usine me permit de trouver la consommation moyenne des turbines. En somme le barrage constituait un véritable « robinet de jauge » pour le Cher.

Le double système d'observations, poursuivies depuis 1909 et 1910, m'a donné les résultats indiqués sommairement dans ma note de la « R. G. E. » (n° du 23 no-

Digitized by Google

vembre 1918), résultats au sujet desquels il convient de faire quelques observations.

D'abord, la période envisagée paraît un peu courte parce qu'elle ne présente pas d'années excessives dans les deux sens, c'est pourquoi je n'ai pas fait état de l'année 1910, exceptionnellement pluvieuse, dans le calcul du débit moyen. Mais si l'on tenait compte de l'année 1918, année exceptionnellement sèche, elle compenserait en grande partie l'excédent de 1910 et l'ensemble donnerait encore, sensiblement la moyenne que j'ai obtenue.

Il faut remarquer en outre que, les phénomènes météorologiques étant essentiellement capricieux, les années exceptionnelles peuvent différer considérablement du régime moyen et l'espoir d'arriver à une régulation absolue serait illusoire. L'année 1910 donna un débit global double de la moyenne, l'année 1918 ne va probablement pas débiter la moitié de cette même moyenne, le débit global peut donc varier certainement dans le rapport de un à quatre : donc, quand on installera des récepteurs hydrauliques de puissance totale égale à la puissance moyenne du cours d'eau, même pourvu d'une capacité de réservoirs régulateurs calculée comme je l'ai fait, il y aura des années où une notable partie du matériel restera longtemps inactive même aux points de chute inférieurs.

La cote d'irrégularité paraît être pour le Cher plus grande que pour n'importe qu'elle autre rivière de la région ; mes observations l'estiment entre 0,20 et 0,25 ; celles des autres cours d'eau sont inférieures (1).

Dès lors, la fraction du débit global annuel à emmagasiner pour parer complètement au déficit d'été-automne sera certainement inférieure à 0,20 pour la plupart des cours d'eau intéressants du Massif Central.

Je crois bon de faire remarquer encore, d'après le graphique du régime moyen du Cher (voir *R. G. E.* 23 novembre 1918), qu'il y a seulement quatre mois franchement déficitaires : juillet, août, septembre, octobre, mais les déficits sont très grands ; cela exige, à cause de l'insuffisance des réserves, une usine vapeur de secours presque aussi puissante que l'usine hydraulique pour assurer le service du réseau pendant la période déficitaire.

On comprend qu'avec un régime aussi capricieux l'utilisation de l'énergie des cours d'eau du Massif Central paraisse très aléatoire au premier abord ; mais l'une des conditions de cette utilisation, la production de hautes chutes, exige un travail qui sert en définitive à deux fins. En effet, une telle chute ne peut guère s'obtenir dans la plupart de nos rivières qu'en barrant la vallée à une hauteur convenable ; par cela même, on constitue en amont du barrage une réserve d'eau qui atténue l'irrégularité ; cette action du barrage est d'autant plus efficace que la capacité du réservoir est plus grande et celle-ci, pour une même hauteur de barrage, croît en sens inverse de la pente. C'est ce double rôle des barrages réservoirs qui rend possible et avantageuse la captation de l'énergie hydraulique dans le Massif Central. L'aménagement par barrages présente encore cet avantage qu'en créant de nouvelles chutes — et de nouveaux réservoirs sur une rivière, c'est-à-dire en augmentant la chute globale utilisée, on augmente la réserve générale et l'on se rapproche de l'uniformité du débit, surtout dans les biefs inférieurs : *les chutes inférieures profitent ainsi de toute nouvelle installation faite en amont.* Cette considération montre que, si l'on veut obtenir le rendement maximum avec un cours d'eau déterminé, il est nécessaire de ne faire exploiter la puissance que par une seule entreprise. Si plusieurs entreprises opèrent sur le même cours d'eau, les usines inférieures seront privilégiées et personne n'entreprendra rien en amont d'une usine existante. Il existe en effet une mentalité, assez explicable, qui empêche tout individu ou collectivité de faire quoi que ce soit qui puisse profiter au voisin ; il faut en tenir compte. Cette mentalité n'agira pas si l'exploitant d'énergie hydraulique a pour domaine concédé le bassin entier d'un cours d'eau. Ayant organisé une chute en un point de son thalweg, il n'hésitera pas, si la demande d'énergie augmente, à en créer une autre, soit en amont soit en aval, sachant que, dans le premier cas, la première chute se trouvera améliorée, ipso facto (1) ; dans le second cas, la nouvelle chute sera dans des conditions plus favorables. Il se passera pour les premières installations quelque chose d'analogue à ce qui s'est passé pour les lignes de chemin de fer principales quand on construisit des lignes secondaires : le trafic des premières se trouvait augmenté, leur rendement était supérieur et compensait la perte éprouvée dans certains cas directement sur l'exploitation des lignes secondaires. Une usine hydro électrique établie dans les parties hautes d'un bassin pourrait n'être pas rémunératrice par elle-même, mais son réservoir pourrait être capable d'améliorer considérablement le rendement de toutes les chutes inférieures et justifierait alors sa construction.

Au point de vue de l'utilisation de la puissance hydraulique de tout cours d'eau du Massif Central, la régularisation du débit me paraît être essentielle et j'estime que ce serait une grosse erreur de vouloir utiliser une rivière de cette région par dérivation, — à flanc de coteau ou souterraine, — si le débit n'a pas été préalablement en partie régularisé ; il faudra s'abstenir de traiter ainsi toute rivière sur laquelle il n'est pas possible de créer des réservoirs régulateurs de capacité convenable.

Comme le régime des pluies est sensiblement le même dans tout le Massif Central ; comme la constitution géologique est presque partout la même aussi, ce qui

(1) En 1906, avant la construction du barrage de Rochebut, le débit du Cher descendit à 30 litres par seconde pendant l'été ; à la grande crue du 9 novembre 1905, soit quelques mois auparavant, le débit maximum dépassa 600 mètres cubes par seconde. Un des constituants de la Dordogne la Rhue de Cheylade, dont le débit moyen est environ moitié de celui du Cher, n'est pas descendu, pendant la saison exceptionnellement sèche de 1918, au-dessous de 150 litres par seconde.

(1) La création du barrage de Rochebut a permis à plusieurs grandes minoteries placées en aval de supprimer l'emploi de la vapeur pendant quatre mois par an, ci : une rente annuelle de 5 000 à 6 000 fr obtenue sans bourse délier.

Digitized by Google

entraîne la similitude de topographie des bassins, on peut légitimement appliquer les résultats tirés du bassin du Cher à tous les cours d'eau de la région, on ne risque pas de faire de trop fortes erreurs en agissant de cette manière. Dès lors, en possession des résultats pluviométriques d'un bassin et de sa superficie, il devient facile de calculer le débit global annuel moyen de son émissaire : en prenant les 42 pour 100 de la masse d'eau qui tombe par année moyenne sur toute sa superficie.

Les profils en long des cours d'eau et de leurs affluents permettent de déterminer les hauteurs de chute globale qu'effectuent les divers débits dans des secteurs déterminés pour chaque flux ; on en déduit la puissance dépensée dans chacun de ces secteurs, — puissance brute, - presque exclusivement employée à détruire jusqu'ici dans tout le Massif Central.

Pour dresser un plan général de l'utilisation rationnelle de la puissance d'un cours d'eau, il faut encore connaître sa cote d'irrégularité. Pour cela, il est indispensable de connaître le mode de répartition de son

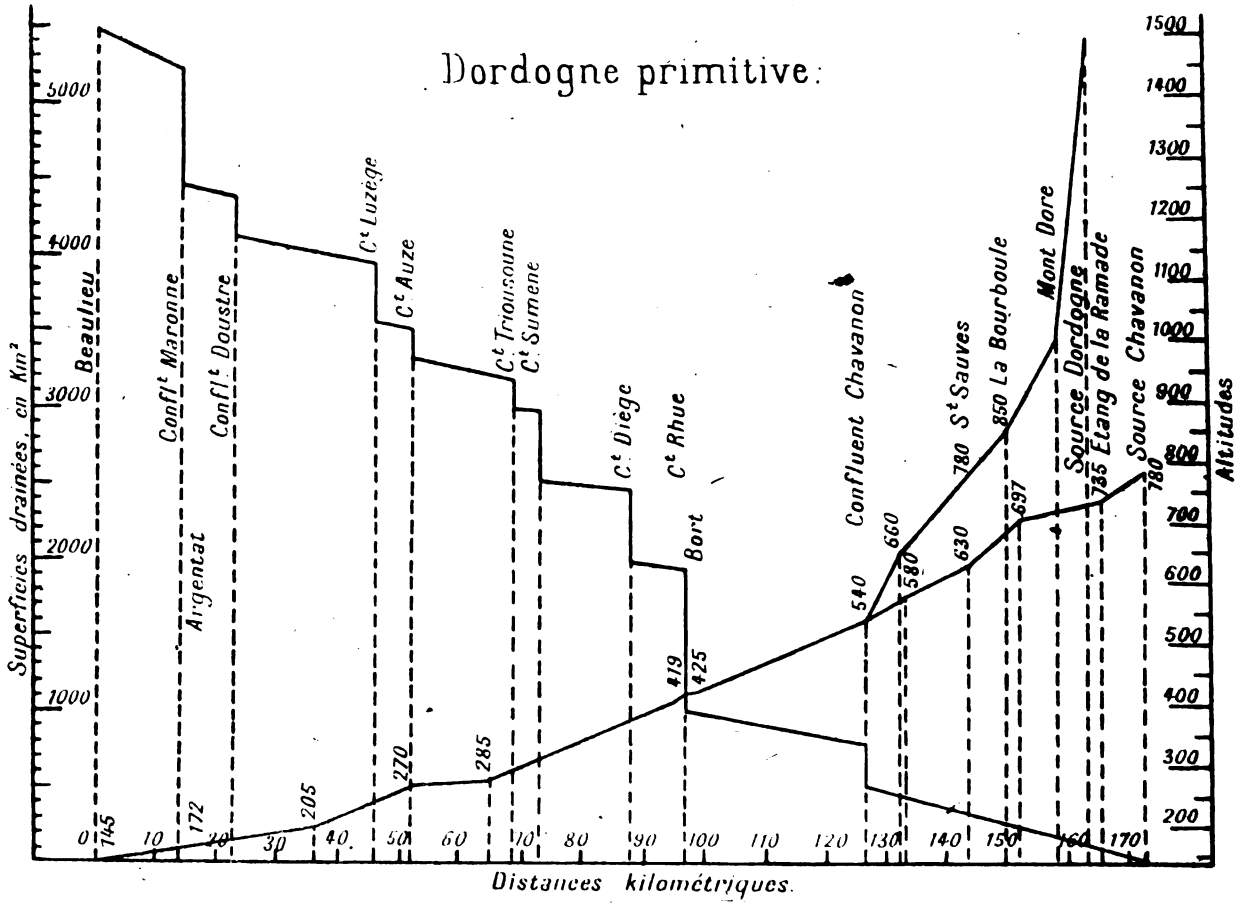


Fig. 1. — Graphique des superficies drainées par la Dordogne primitive et le Chavanon et profil en long de ces rivières

débit global annuel entre les divers mois de l'année ; ce n'est possible qu'au bout d'une dizaine d'années d'observations suivies, suffisamment précises comme celle que je fais pour le Cher. Mais, dès maintenant, l'on peut considérer la cote du Cher comme étant maximum.

Cela posé, nous pouvons appliquer dès maintenant les données précédentes à l'examen de deux cours d'eau du Massif Central dont les puissances semblent se prêter à la captation désirée mieux que toutes les autres : la Dordogne, la Truyère.

Etude des cours d'eau immédiatement utilisables. — I. La Dordogne. — La Dordogne est peut-être le cours d'eau le plus caractéristique de la zone qui nous occupe. En ne considérant que la partie de son bassin située dans les terrains primitifs, — Dordogne primitive, — on trouve qu'elle draine environ 5 500 km² de territoire et sort de ces terrains vers la cote 145. Si le nom d'une rivière était celui du constituant qui est le plus long et qui a le plus fort débit quand il conflue avec d'autres, la Dordogne aurait dû perdre son nom en se joignant au Chavanon, plus long qu'elle, drainant une superficie très supérieure et possédant dès longtemps la direction générale de la rivière. Toutefois, la Dordogne peut revendiquer le droit de nom par l'altitude supérieure de sa source située sur le versant nord du Puy de Sancy.

Digitized by Google

Par elle-même et par ses affluents de gauche, elle emporte les eaux de la majeure partie du Mont Dore, du versant ouest du Cézallier et d'une grande partie du Massif du Cantal ; ses affluents de droite lui apportent

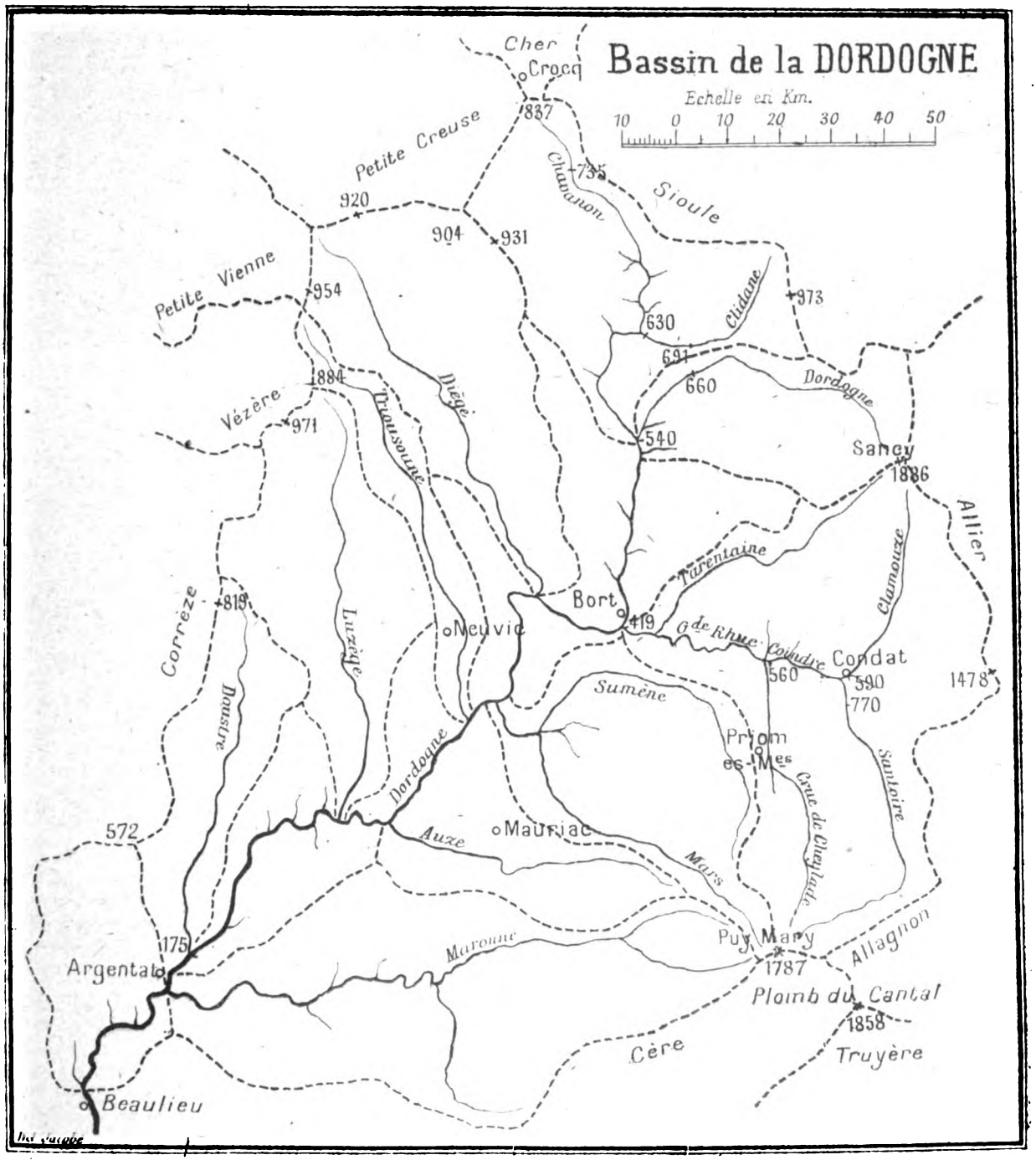


Fig. 2. — Bassin de la Dordogne.

l'eau d'une bonne partie du Limousin. Tout le bassin reçoit d'abondantes précipitations atmosphériques qu'on peut évaluer à une épaisseur moyenne comprise entre 120 et 130 cm, par an (1). Cela représente un débit global moyen annuel supérieur à 2800 millions de

(1) Il convient de ne pas considérer ces nombres comme exacts ; ils donnent simplement l'ordre de grandeur. Les postes pluviométriques sont beaucoup trop rares dans ces régions ; il faudrait les multiplier pour avoir des indications absolument valables. P. M.

Digitized by Google

mètres cubes, ou un débit moyen de plus de 85 m³ : sec. Ce débit correspond, entre les cotes 700 et 145 seulement, à une puissance brute supérieure à 45 000 tonnes-mètre par seconde. Une notable partie de cette puissance est certainement utilisable dans des conditions pratiques.

En admettant pour cote d'irrégularité 0,15, valeur très vraisemblable, il faudrait des réservoirs régulateurs de 400 à 450 millions de mètres cubes de capacité pour obtenir, en année moyenne, un débit constant à la sortie du bassin. Si l'on consent une dénivellation moyenne de 15 m sur l'ensemble de ces réservoirs, c'est une superficie de 30 km² qu'ils devraient avoir, superficie très facile à trouver dans l'ensemble du bassin.

La figure 1 présente le profil en long approximatif, (d'après les cartes de l'Etat-major au 80 000ᵉ) de la Dordogne et du Chavanon, l'affluent qui prend sa source à la plus grande distance de l embouchure. L'examen de ces profils montre que le Chavanon est en réalité le constituant principal ; ce dut être la Dordogne primordiale, sa pente générale se continue dans la Dordogne moyenne, tandis que la Dordogne supérieure a une pente beaucoup plus rapide due à la surélevation de son bassin par les éruptions du Mont-Dore. Nous avons représenté sur la même figure le graphique des superficies drainées ; ce graphique pourrait aussi représenter à peu de chose près les débits en divers points du thalweg en raison de la quasi-uniformité des précipitations atmosphériques dans une très grande étendue du bassin.

Le profil en long met en évidence la régularité et la faiblesse de la pente sur une grande longueur. De Beaulieu, vers la fin de la Dordogne primitive, au confluent du Chavanon, il y a une différence de niveau d'environ 400 m, répartie assez uniformément sur 125 km de long, soit 3,20 m : km. Toutefois, sur les 30 km supérieurs de cette portion de la Dordogne, le bord de la rivière est suivi par une route et une voie ferrée dont la présence interdit, — provisoirement du moins, — toute création de barrage-réservoir. Mais entre Bort et Argentat, sur un développement de 80 km, la rivière coule dans des gorges profondes, sauvages, difficilement accessibles, où l'on ne rencontre que de rares petits groupes de population. C'est cette portion de la vallée qui présente pour le moment le plus d'intérêt au point de vue de la captation d'énergie hydraulique ; il est possible de la transformer en une série ininterrompue de biefs déversant directement de l'un dans l'autre, formant une chute totale de 250 m environ, avec un débit moyen passant de 30-35 m³ : sec à l'origine jusqu'à 65-70 m³ : sec à la sortie. Comme les thalwegs des principales vallées affluentes se raccordent sans rupture de pente avec la vallée principale, les barrages placés à proximité des confluents donneront des réservoirs de grande surface éminemment aptes à régulariser le débit. En tenant compte de ce qui existe sur le Cher, on peut estimer que des barrages de 60 m, dont 10 m mouillés par le réservoir d'aval, couvriraient sur ce parcours une surface de 25 à 30 km². Les réservoirs en question auraient donc une capacité presque suffisante déjà pour assurer une bonne régulation avec la tranche supérieure de 10 m d'eau. Comme la Dordogne et ses affluents présentent, en dehors de cette section privilégiée, nombre d'emplacements très favorables à l'établissement de grandes chutes et de réserves importantes, le débit étant déjà en partie régularisé avant d'arriver au secteur Bort-Argentat, les réserves de ce secteur n'auraient à jouer en grand que dans les périodes très déficitaires lorsque tout le bassin serait aménagé, c'est-à-dire lorsque les 45 000 tonnes-mètre par seconde précitées auraient été captées.

Sur les 36 premiers kilomètres en amont de Beaulieu la pente est minimum : 1,70 m : km ; donc il est encore possible d'obtenir là une capacité considérable avec deux barrages relativement petits.

Sur les 45 km compris entre la source du Chavanon et son confluent avec la Dordogne, cette rivière ne s'abaisse que de 240 m, soit de 5,3 m : km. Les parties les moins déclives se prêtent encore fort bien à la création de barrages-réservoirs dans lesquels le rapport de la capacité du réservoir au volume du barrage est très élevé, ce qui donne un bas prix de revient pour le mètre cube de capacité. D'ailleurs les réservoirs du Chavanon étant à une assez grande altitude, le potentiel d'utilisation de leur eau serait très élevé, ce qui doit appeler particulièrement l'attention sur ce petit bassin.

Il est remarquable que, depuis fort longtemps, les habitants du bassin du Chavanon ont utilisé avec une bonne méthode la puissance de leurs ruisseaux ; ils ont créé de nombreux étangs, consacrés à l'aquiculture, dont quelques-uns n'ont pas moins de 3 km de long, étangs qui donnaient directement des chutes intéressantes pour le temps passé et qui, en partie vidés progressivement, en saison sèche donnaient l'activité à de nombreux moulins situés en aval. Il n'y a qu'à reprendre la même idée, avec plus d'ampleur et avec les moyens modernes de construction pour tirer un excellent parti de ce « château d'eau » naturel.

Parmi les affluents de la Dordogne qui offrent le plus d'intérêt à notre point de vue, il faut citer spécialement la Rhue qui, un peu en aval de Bort, double à peu près le débit de la Dordogne et le porte à 30-35 m³ : sec. Les « Gorges de la Rhue » sont réputées dans toute la région, son bassin supérieur, — en amont de la cote 560, — forme une sorte d'hémicycle dont toutes les eaux convergent en un point : Coindre, où il est facile de barrer à 70 m de haut et de refouler l'eau dans un système de vallées rayonnantes pour y former un réservoir de grande surface, malgré la pente considérable des thalwegs, environ 13 m : km. De ce réservoir au confluent avec la Dordogne une chute de 200 m est intégralement utilisable en trois degrés dont un de 100 m. En outre, dans les vallées supérieures on peut encore barrer facilement et porter les plans d'eau jusqu'à 800 et 900 m d'altitude. Enfin, le haut bassin de la Rhue présente une série de lacs d'origine glaciaire pouvant être aménagés aisément pour constituer d'importantes réserves d'eau.

Je ne prétends pas à donner des précisions sur la marche à suivre pour mettre en valeur l'énorme puissance du bassin de la Dordogne jusqu'à aujourd'hui

Digitized by Google

perdue, mais il me paraît bon d'indiquer quelques directives.

D'abord, il faut viser à obtenir, dans le délai le plus rapproché et avec le minimum de frais, la plus grande régularité possible du débit : la valeur d'une puissance constante étant très supérieure à celle d'une puissance d'à-coups. Il faut donc chercher à obtenir les chutes par barrages plutôt que par dérivation à l'air libre ou souterraine ; il faut déterminer les emplacements de barrages qui, pour une même chute, donneront la plus grande capacité. En principe, les points les plus favorables pour cela se trouvent en aval des confluents de vallées importantes, surtout en certains nœuds de vallées comme celui de la Rhue à Coindre où les barrages font des réservoirs à plusieurs branches, digités. Malheureusement, certains bassins qui eussent été très propres à la création de réservoirs optima sont occupés par des agglomérations d'habitants et l'on ne peut penser à les

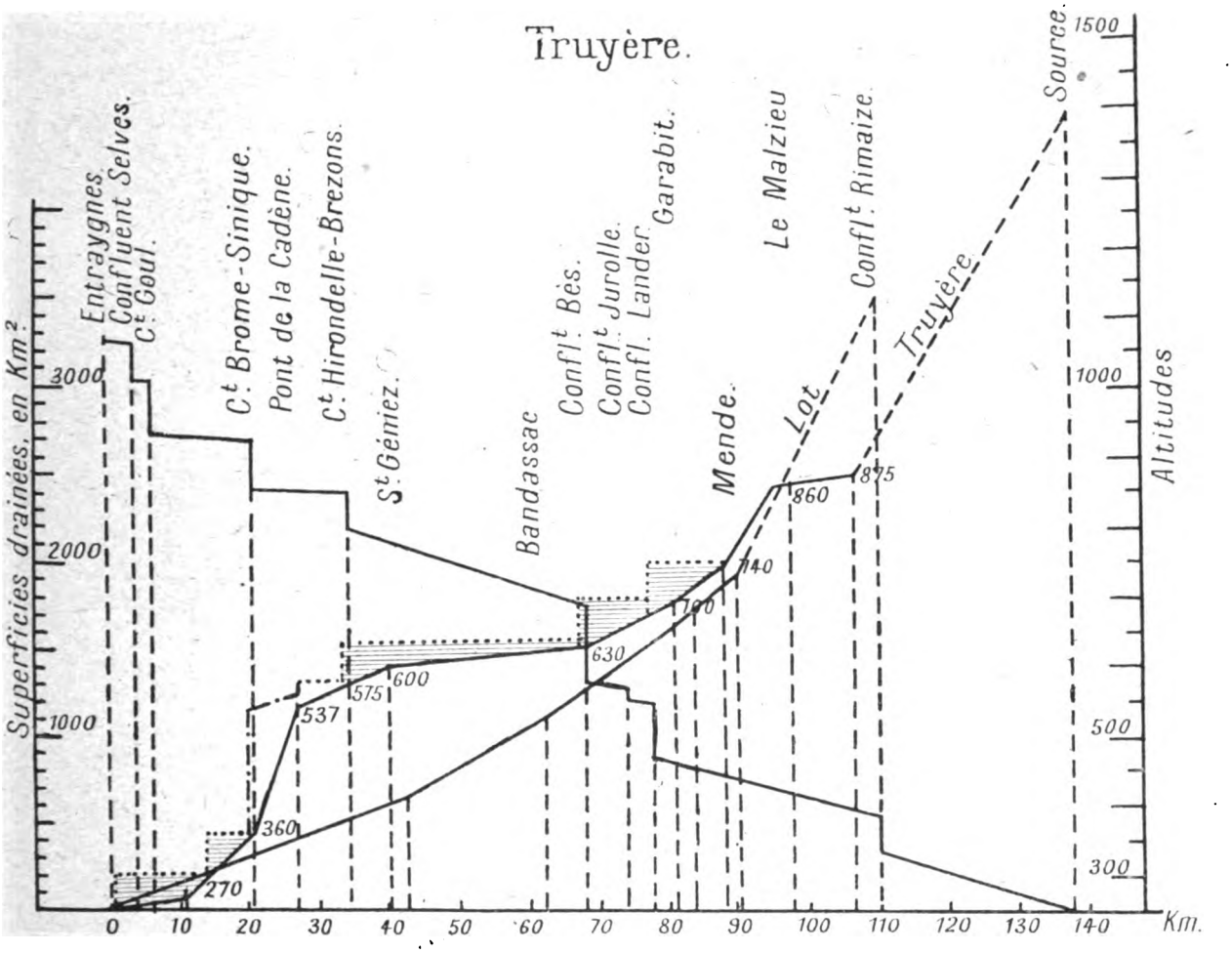


Fig. 3. — Profil en long de la Truyère et du Lot et graphique des superficies drainées par la Truyère.

submerger, tels Condat-en-Feniers et Riom-ès-Montagnes ; mais ces groupes sont en somme peu nombreux.

Il serait bon de profiter de la construction des barrages pour améliorer les conditions des communications entre les compartiments du plateau que les vallées séparent et, conséquemment, il ne faudrait pas chercher à réduire au minimum le nombre des réservoirs, ce qui restreindrait encore le nombre des points de passage. En particulier, les deux rives de la Dordogne, entre Bort et Argentat sont reliées par un nombre de ponts très petit, sept, qu'il serait très fâcheux de réduire encore.

Enfin, il me paraît essentiel d'envisager l'utilisation d'ensemble du bassin et non l'utilisation indépendante de certains points favorables. L'utilisation globale, méthodique, nécessitera un système considérable de travaux dont le plan ne peut être bien établi qu'à la suite d'études très approfondies et précises sur le régime des cours d'eau et sur la topographie des vallées. Pour celles-ci, il me paraît bon de signaler l'emploi de la méthode stéréophotographique qui a été rendue très pratique peu de temps avant la guerre et qui conviendrait excellemment pour les levés du genre en question.

Digitized by Google

II. La Truyère. — Si la Dordogne paraît avoir usurpé le droit de donner son nom au cours d'eau résultant de sa jonction avec le Chavanon, le Lot a agi de même à l'égard de la Truyère : il se joint à cette rivière près d'Entraygnes (Cantal) à une altitude d'environ 250 m. Au confluent, le Lot n'apporte les eaux que de 2 100 km², tandis que la Truyère donne pour sa part celles de 3 250 km², d'une surface généralement plus haute que celle où s'alimente le Lot supérieur. Lot et Truyère font ainsi passer sous Entraygnes les eaux de 5 300 km² environ, superficie à peu près équivalente à celle de la Dordogne primitive.

La figure 3 donne à la fois les profils en long de la Truyère et du Lot supérieur, ainsi que le graphique des superficies drainées par la Truyère en certains points de son thalweg. On voit par cette figure qu'il existe une différence profonde entre la Truyère et le Lot, de même qu'avec la Dordogne et le Chavanon. Tandis que le profil des derniers cours d'eau présente une variation régulière de pente, due à l'homogénéité des sols traversés et à l'absence de manifestations volcaniques dans les zones des thalwegs, celui de la Truyère est très tourmenté et pré-

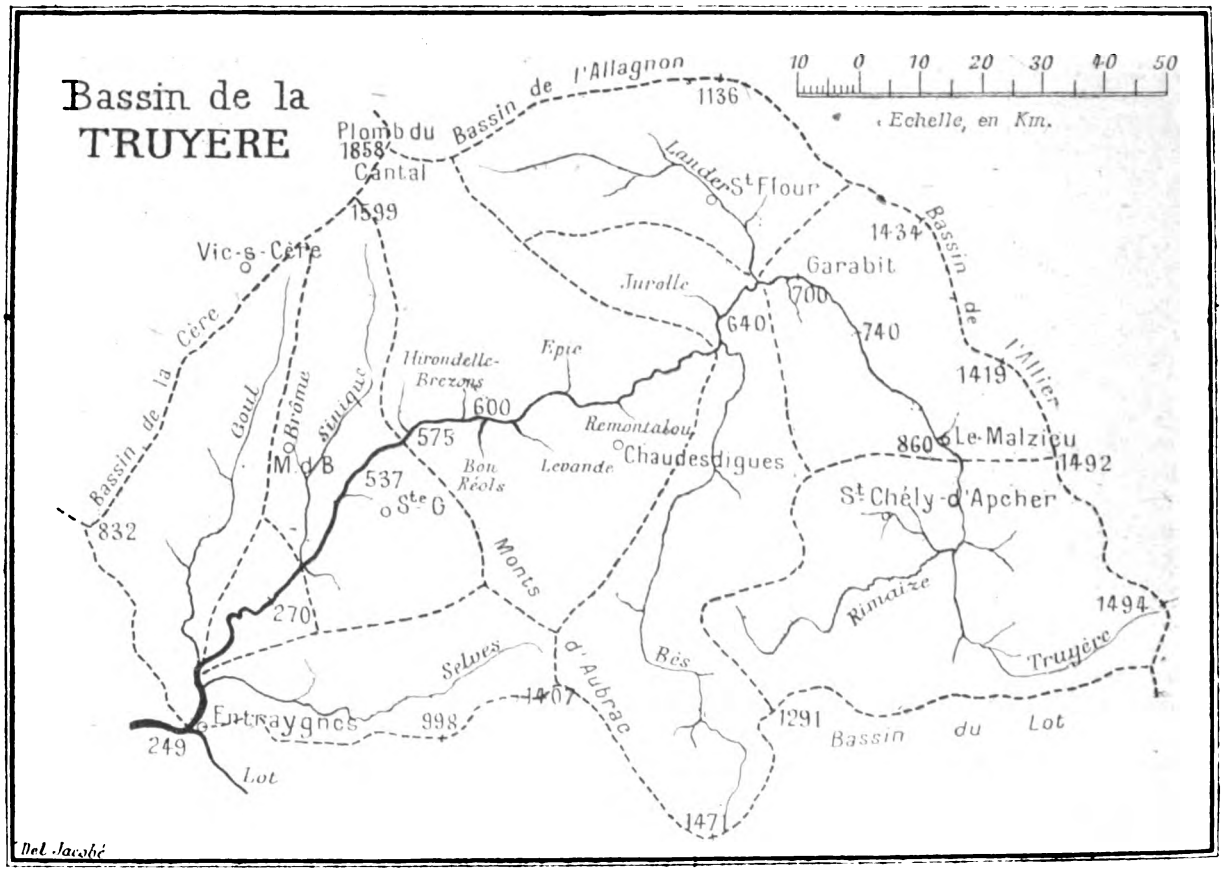


Fig. 4. — Bassin de La Truyère.

sente un aspect anormal. La comparaison des cartes des deux bassins (fig. 2 et 4) permet de se rendre compte, par les orientations de cours d'eau, de la différence des topographies et d'en soupçonner les causes.

La Truyère, qui prend naissance dans les granits de la Margeride, descend d'abord très rapidement jusqu'à un petit bassin tertiaire — petite Limagne — où elle pénètre après un parcours d'une trentaine de kilomètres, ayant drainé une sorte d'hémicycle dont le centre est vers Rimaize. Dans la plaine tertiaire, elle coule quasi-horizontalement, lentement, vers la cote 860 : Malzieu. Après une dizaine de kilomètres de tranquillité, elle coule de nouveau dans les granits, d'abord avec une pente très forte, puis la pente s'atténue progressivement jusqu'à devenir égale à 1,60 m : km sur un très long parcours où elle coule dans des micaschistes. En passant sous le grand viaduc de Garabit, vers la cote 700, elle a déjà repris une pente raisonnable : environ 5 m : km. La longue zone à faible pente qui termine ce second bief est due au mouvement de terrain qui accompagna les éruptions du Cantal et de l'Aubrac ; la rivière passe dans l'étroit espace qui sépare ces deux massifs volcaniques qui firent ainsi, à une certaine époque, un barrage naturel que l'on peut reconstituer en partie à présent. Enfin, après la traversée du détroit Cantal-Aubrac, la rivière pénètre encore une fois dans les granits, elle s'y

Digitized by Google

encaisse profondément — zone des gorges fameuses de la Truyère — elle descend bientôt avec une pente énorme de manière à faire une chute globale de quelque 200 m sur 6 à 7 km de parcours ; puis de nouveau la pente s'atténue à l'approche du Lot dans une zone de schistes cristallins ; le raccordement s'effectue avec une pente finale inférieure à 2 m : km, après un parcours total de 135 à 140 km.

Le caractère de la Truyère est donc l'existence de trois paliers étagés dont le second se raccorde aux deux autres par des pentes très fortes comportant de très grandes chutes sur un faible parcours. La forme de la vallée dans les paliers est toujours la forme type du Massif Central ; elle se prête excellemment à l'établissement de barrages-réservoirs de capacité spécifique considérable. Le palier intermédiaire n'a guère qu'une pente moyenne de 1 m : km sur 30 km de longueur (suivant les méandres). Un barrage de 50 m situé vers le kilomètre 40, à la base de ce palier, vers la cote 600, près du confluent Bon-Réols, refoulerait l'eau jusque vers le kilomètre 72 et la ferait pénétrer dans une série de vallées latérales, de même caractère dans leur partie basse. On couvrirait ainsi une surface considérable avec une grande profondeur, ce qui donnerait une énorme réserve d'eau.

Si l'on considère qu'en ce point, kilomètre 40, passent les eaux de 2 100 km², recevant en moyenne environ 120 à 130 cm d'eau par an, soit un volume approximatif de 2600 millions de mètres cubes, nous pouvons dire que le débit global annuel en ce point est supérieur à 1 100 millions de mètres cubes (42 pour 100 de 2600.10⁶). Le débit moyen en ce point peut donc être évalué à 34 ou 35 m³ : sec. Le plan d'eau étant porté à la cote 650, ce débit tombant jusqu'au Lot fera une chute de 400 m, ce qui représente une puissance brute d'environ 14000 tonnes-mètre par seconde.

En admettant 0,15 comme cote d'irrégularité de la Truyère, l'obtention d'un débit uniforme en année moyenne exigerait en amont du point considéré précédemment une capacité de réservoirs régulateurs s'élevant à quelque 165 millions de mètres cubes, soit, avec une dénivellation consentie de 15 m, très faible par rapport à la chute totale, à une superficie de 10 à 11 km². Le seul réservoir de la cote 600-650 serait probablement capable d'en fournir la majeure partie. Du reste, d'autres réservoirs, avec des chutes très utilisables sont encore possibles en amont, dans la Truyère et dans ses affluents, en sorte que la grande réserve de la cote 650 n'aurait à jouer que dans les années exceptionnellement sèches.

La zone de pente extrême qui s'étend entre les kilomètres 20 et 25 ou 26 est impropre à la création de barrages-réservoirs ; les barrages seraient, à la vérité, très courts à cause de l'étroitesse des gorges, mais ils ne donneraient que des capacités infimes ; ils ne serviraient que pour faire des chutes ; comme ils seraient très difficilement accessibles pour le service des usines, il faudra envisager dans ce secteur le système de dérivation souterraine. Cette dérivation pourrait partir d'un barrage placé au kilomètre 26, cote 537, atteignant la cote 600 et dont le réservoir servirait de prise d'eau pour l'usine placée vers le kilomètre 20, à la cote 360 où la pente redevient propre à l'établissement de barrages-réservoirs de bonne capacité. La figure 3 indique, grosso modo, les emplacements et hauteurs des barrages qu'il semble bon d'envisager à la suite d'une étude sommaire comme celle à laquelle nous nous sommes livré.

P. Morin.

Les turbines à vapeur de grandes puissances

Dans cette note, l'auteur rappelle quelques étapes du développement des turbines à vapeur, notamment dans les centrales des Etats-Unis où ce développement a été particulièrement marqué, et donne une comparaison économique, établie d'après l'expérience américaine, entre les différents types de centrales thermiques.

L'utilisation vraiment pratique des turbines à vapeur dans les stations centrales a commencé vers 1903 avec l'installation des machines verticales de 5000 kw à l'usine de la Commonwealth Edison Cᵉ, de Chicago. La réussite de cette installation détermina une accélération remarquable du développement des turbines.

Cette installation est caractéristique de la hardiesse avec laquelle les sociétés productrices d'énergie électrique ont engagé leurs capitaux et leur avenir pour chercher à franchir une nouvelle étape dans le développement des méthodes et du matériel, en acceptant tous les risques de l'opération. C'est aujourd'hui l'industrie tout entière qui est redevable aux hommes courageux et clairvoyants qui en furent les auteurs.

Les premières turbines de grande puissance étaient du type vertical, parce que ce type était particulièrement bien adapté aux vitesses alors atteintes et à une bonne utilisation des matériaux fournis par le commerce auxquels on ne pouvait encore imposer que des contraintes assez limitées. Ces machines, grâce à leur prix réduit et à leur faible encombrement, purent éliminer dans les centrales américaines tous les autres types de moteurs et rendirent possible le développement considérable des centrales thermiques

Aussi les turbines verticales furent construites en grand nombre, de 1903 à 1913.

Pendant cette période, on travailla énormément et efficacement à perfectionner les turbines. C'est ainsi

Digitized by Google

que les machines de 12000 kw, qui remplacèrent les unités de 5000 kw de Chicago, avaient un rendement supérieur de 40 pour 100 à celui de ces dernières.

D'autre part, les perfectionnements dans la construction des génératrices, dans les méthodes de préparation des matériaux et, par suite, dans les propriétés de ceux-ci permettaient d'atteindre des vitesses supérieures et un rendement supérieur de 65 pour 100 à celui que nous avons pris comme base.

Mais ces hautes vitesses entraînèrent l'adoption de la construction horizontale, mieux adaptée aux diamètres réduits des arbres de turbines et des rotors de génératrices; ce type est exclusivement employé depuis 1913. Il a permis de réduire encore les pertes par résistances passives.

Les différents progrès réalisés sont retracés dans les courbes des figures 1, 2, 3.

Tout d'abord (fig. 1), on verra que la consommation

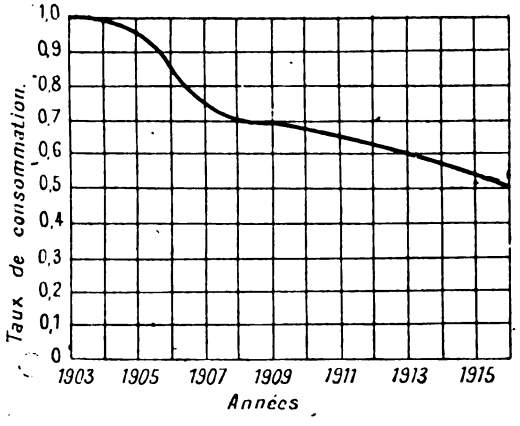


Fig. 1. — Taux de consommation des turbines à vapeur de 1903 à 1916, la consommation en 1903 étant prise pour unité.

de vapeur, à la station de Chicago, a été réduite en 1916, à la moitié de sa valeur en 1903.

Il faut signaler qu'aucun progrès parallèle n'a été réalisé par les autres machines thermiques qui, à une certaine époque, avaient menacé la suprématie de la machine à vapeur et qui — en ce qui concerne le rendement — en sont restées au point même où elles en étaient il y a déjà nombre d'années.

Les groupes les plus puissants, actuellement installés à Chicago, développent 35000 kw; deux groupes de 45000 kw sont, d'autre part, en construction.

Ces chiffres sont actuellement des limites supérieures qui ne semblent guère devoir être dépassées, à cause des propriétés des matériaux et des difficultés des transports par rail. Mais on ne peut rien dire de définitif à ce sujet, car l'expérience des quinze dernières années a montré souvent la possibilité de réalisations inespérées.

Les causes des progrès des turbines sont multiples. On peut les résumer ainsi :

1° *Utilisation de plus en plus complète de l'énergie contenue dans la vapeur*, ce qui a entraîné un accroissement du nombre des étages de pressions et des étages de vitesses.

2° *Augmentation de la détente de la vapeur, d'où emploi d'un vide élevé.* — Au début de l'emploi des turbines, on considérait comme satisfaisant un vide de 90 pour 100; actuellement, un vide de 96 pour 100 est usuel et certaines stations réalisent, du moins en hiver,

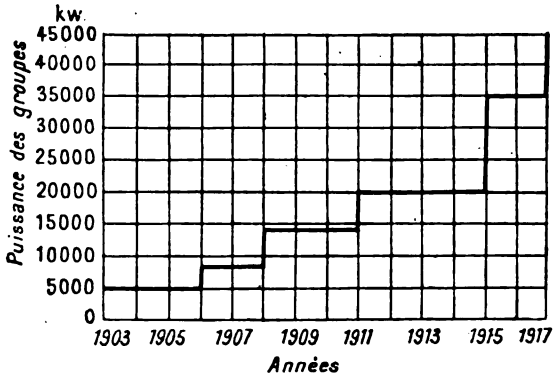


Fig. 2. — Variation de la puissance unitaire des turbines à vapeur de 1903 à 1917.

des vides de 98 pour 100 de la pression atmosphérique.

3° *Augmentation de la pression initiale de la vapeur et de sa température de surchauffe.* — Au début de l'emploi des turbines, on ne dépassait pas 12 kg : cm², sans surchauffe. D'un côté, on a acquis une connaissance plus complète des lois du régime des vapeurs et de l'augmentation de rendement thermique aux fortes pressions avec surchauffe; d'autre part, on a appris à mieux construire les chaudières et les tuyauteries, en augmentant le rendement et la sécurité. On utilise dans les groupes de 35000 kw une pression de 21 kg : cm² et une température de 370° C. Les groupes de 45000 kw sont

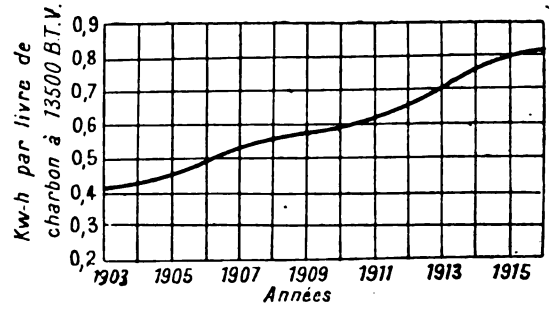


Fig. 3. — Fraction de kilowatt-heure produite par 1 kg de charbon à 7 500 cal-kg — d de 1903 à 1916. — B. T. U. = 0,252 cal-kg — d; livre = 0,454 kg.

prévus pour 24,5 kg cm² de pression et une température de vapeur, de 350 à 400° C.

Les progrès dans cette voie sont conditionnés par deux ordres de causes : d'une part, établissement et conservation en bon état de service des chaudières et des tuyauteries; d'autre part, conditions économiques ou commerciales de l'achat du matériel, en raison du

Digitized by Google

prix plus élevé de ce dernier. On peut, d'ailleurs, dire à coup sûr que les augmentations de pression et de températures pratiques suivront toujours de près l'amélioration des matériaux et les perfectionnements de la construction.

4° *Amélioration du rendement des chaudières.* — En 1903, le rendement des groupes de chaudières se tenait au voisinage des chiffres suivants : dans les aciéries, 60 pour 100; dans les stations centrales, 65 à 70 pour 100. Actuellement, les installations récentes donnent, avec les économiseurs, de 82 à 84,2 pour 100. Cette amélioration est due aux perfectionnements des appareils de chargement mécanique, de la construction des foyers, à l'usage de chaudières de grandes dimensions et aux économiseurs. Ces derniers appareils ajoutent de 4 à 6 pour 100 au rendement de l'installation. Il est possible et profitable de gagner encore un peu en installant un réchauffeur d'eau d'alimentation à la sortie de l'économiseur, suivant que le permettent les dispositions locales; car l'économiseur ne peut fonctionner que jusqu'à la température de condensation de l'humidité des gaz; avec les réchauffeurs, on a pu abaisser la température finale des gaz jusqu'à moins de 125° C.

Avec les gaz de hauts-fourneaux, moyennant l'emploi de laveurs et de brûleurs à mélange soigné, on arrive à un rendement de 81 pour 100.

On peut résumer tous ces progrès en écrivant que pour 1 kg de charbon à 7500 calories, on pouvait produire aux barres du tableau en 1903, 0,41 kw-h et qu'actuellement on y produit 0,82 kw-h, soit en treize ans un accroissement de 100 pour 100.

L'une des grandes difficultés qui tendent à répandre à ce sujet des idées fausses provient de la rapidité du développement des turbines. Car quand une machine nouvelle vient d'être installée, elle ne représente déjà plus le type le plus avantageux. Il est donc permis de prévoir que l'on obtiendra, dans un avenir assez proche, des résultats plus avantageux encore que les précédents.

Turbines à vapeur et moteurs à gaz. — Les puissantes installations de moteurs à gaz qui ont été faites dans les usines métallurgiques des Etats-Unis ont été décidées pendant la période de développement des turbines à vapeur. Les chiffres donnés plus haut au sujet de ces dernières montrent bien que les raisons qui avaient fait préférer les moteurs à gaz sont devenues, en quelques années, justiciables d'une revision sérieuse.

Pour mettre dans leur vrai jour les caractères distinctifs des deux types de machines, en ce qui concerne les frais de premier établissement, les frais d'utilisasion en marche et le rendement, on a établi des moyennes relatives à un nombre considérable d'installations et l'on en a choisi trois qui représentent parfaitement les types moyens.

La première comporte uniquement des moteurs à gaz.

La deuxième, des turbines à vapeur.

La troisième, dite installation mixte, est une installation de moteurs à gaz, auxquels sont adjointes des turbines à vapeur.

En ce qui concerne les facilités de marche continue, ces trois types de station doivent être rangés dans l'ordre suivant :

1° Installations avec turbines à vapeur;
2° Installations mixtes;
3° Installations avec moteurs à gaz.

Les installations mixtes sont bien préférables à celles qui ne comportent que des moteurs à gaz, ce qui se comprend facilement.

Par exemple, en effet, dans le cas de hauts fourneaux avec aciéries et forges; il y a des périodes nombreuses pendant lesquelles la fourniture de gaz de haut fourneau est réduite ou nulle; si l'on n'a que des moteurs à gaz, on est conduit à installer des batteries de gazogènes. Les chaudières à vapeur sont bien supérieures à ces derniers comme sources de puissance d'appoint, car, en raison de la capacité calorifique très élevée de l'eau, elles constituent un volant thermique de grande inertie. Des chaudières judicieusement choisies sont maintenues à peu de frais à une température voisine de celle de l'ébullition et se mettent en pression en un temps très court.

Comparaison économique. — Pour comparer au point de vue économique les trois types de centrales, on a établi deux tableaux.

Dans le premier, on examine le cas d'une centrale produisant l'énergie pour quatre hauts fourneaux produisant chacun 560 tonnes de fonte par 24 heures, avec une consommation de coke de 815 kg par tonne de fer. Bien entendu, on suppose la centrale utilisant au mieux tous les gaz des hauts-fourneaux et l'installation d'ensemble aussi perfectionnée que possible.

Dans le deuxième tableau, on envisage une centrale spéciale pour les forges, produisant 20 000 kw. Comme on le verra, il y a peu de différence, comme chiffre des dépenses de toute espèce, entre les installations du type à gaz pur et celles du type mixte. Par contre, les installations à vapeur seule permettent une notable économie, tant pour les frais de premier établissement que sur les dépenses d'exploitation.

Les colonnes se rapportent aux types suivants d'installation :

I. Centrale uniquement à gaz;
II. Centrale mixte;
III. Centrale uniquement à vapeur.

Le charbon est compté à 2 dollars la tonne, plus 0,50 dollar de frais de manutention.

La charge fixe annuelle est comptée au taux de 13 pour 100 par an se décomposant ainsi :

Intérêt du capital investi.....	5 pour 100
Taxes.....	1 Id.
Assurances.....	1 Id.
Amortissement du matériel.....	6 Id.

Digitized by Google

TABLEAU I.

Installation pour 4 hauts fourneaux.

Frais de 1er établissement.	I	II	III
Laveurs et tuyauteries	120 660	120 660	
Station centrale (bâtiments et machines)....	2 094 450	2 164 450	709 640
Station de machines soufflantes	1 001 350	1 085 350	545 304
Station de pompage.....	246 000	246 000	121 496
Chaufferie.....	30 000	104 500	656 240
Gazogènes principaux.....	100 000		
Gazogènes auxiliaires.....	40 000		
Total (dollars).....	3 632 460	3 720 860	2 023 680
Frais annuels d'exploitation :			
Laveurs.....	11 300	11 300	
Station centrale.....	72 000	72 000	46 396
Station des machines soufflantes	34 000	34 000	31 920
Station de pompage.....	5 000	5 000	3 400
Chaufferie.....	5 000	6 000	54 190
Gazogène..	10 000		
Total (dollars).....	137 300	128 300	134 906
Charbon	33 000	48 600	60 400
Charge fixe annuelle.....	472 220	483 725	263 078
Total des charges annuelles.	631 520	660 625	448 384

TABLEAU II.

Station centrale séparée, 20 000 kw.

Frais de 1er établissement..	I	II	III
Laveurs et tuyauteries.....	91 400	89 200	
Station centrale (bâtiments et machines).	1 979 000	2 014 000	681 254
Station de pompage.....	113 100	91 000	59 689
Chaufferie.....	1 131	63 700	446 240
Gazogènes principaux.....	75 700		
Gazogènes auxiliaires.....	30 300		
Total (dollars).....	2 490 631	2 257 000	1 187 183
Frais annuels d'exploitation :			
Laveurs.....	8 570	8 370	
Station centrale.....	68 000	67 000	44 500
Station de pompage.....	2 300	1 850	150
Chaufferie.....	195	3 600	36 800
Gazogènes.....	7 570		
Total (dollars).....	86 635	80 820	81 450
Charbon.....	16 670	29 200	41 100
Charge fixe annuelle.....	298 000	293 300	154 334
Total des charges annuelles.	401 305	403 320	276 884

Conclusion. — L'exposé ci-dessus est en somme un résumé d'opinions américaines autorisées. Il est clair actuellement, au point de vue économique, qu'on a intérêt à employer des groupes de la plus forte puissance possible

Au point de vue technique, le groupe très puissant est intéressant, mais naturellement dans certaines conditions : il doit assurer en quelque sorte la plus grande partie de la fourniture d'énergie d'un réseau, le surplus et notamment les pointes, étant fourni par des groupes moins forts.

Il y a donc là une raison de plus pour conclure en faveur de l'adoption des centrales thermiques assez importantes, soit 50 000, 100 000 kw, avec réseau disposé en conséquence, ou plus exactement la centrale étant implantée en un point convenable d'un réseau suffisamment étendu et présentant une demande suffisamment stable.

Les tableaux cités plus haut sont dus à M. Rice, ingénieur de la General Electric Co.

Dans une discussion au sujet de ces tableaux, M. Row, président de la Detroit Edison Co résumait les enseignements de l'expérience en matière de centrales, dans les termes suivants, par lesquels on peut conclure :

1° Déterminez les foyers et les sections de passage des gaz de vos chaudières exactement pour le charbon que vous aurez ou pour un « intelligent compromis entre les différents combustibles dont vous pourrez disposer ».

2° Calculez votre condensation pour utiliser le plus largement possible les détentes prolongées qui caractérisent les turbines à vapeur, mais sans refroidissement de l'eau condensée.

3° Achetez une bonne turbine à vapeur, souvenez-vous qu'il est possible de faire mieux que la turbine au point de vue du rendement thermodynamique, mais pas à celui de la sécurité mécanique.

4° Faites vos transports de chaleur autant que possible en circuit fermé, ce qui implique que vous considérez la température de l'eau de condensation, l'eau d'alimentation de complément, les services auxiliaires, le tirage, les économiseurs comme des points partiels d'un seul problème d'ensemble.

Jean GUERNER.

Revues, analyses et informations

Marche en parallèle et réglage de la tension des redresseurs de courant à vapeur de mercure (1).

Jusqu'ici les redresseurs de courant de grande puissance sont du type unique à 6 anodes supérieures et une anode à la partie inférieure du cylindre. Il semblerait logique d'adapter le type unique adopté aux différentes tensions et à l'intensité du courant, en augmentant les dimensions des électrodes avec cette intensité, et en augmentant leur distance pour des tensions plus élevées. Or l'expérience montre au contraire que l'économie qu'on pourrait ainsi réaliser sur les matériaux est loin d'être compensée par les difficultés de construction, de sorte qu'il vaut beaucoup mieux, lorsqu'on veut obtenir des courants plus intenses, brancher plusieurs redresseurs de type normal en parallèle.

(1) Dr. B. SCHAFER, *E. T. Z.*, 15 août 1918, t. XXXIX, p. 321-324, 3500 mots, 20 fig.

Digitized by Google

En ce qui concerne la tension ces appareils sont d'ailleurs assez élastiques, puisque l on peut obtenir, avec un même écartement des électrodes des tensions variables entre 65 et 650 v ; la fréquence du courant primaire ne joue d'ailleurs aucun rôle. La Compagnie Glarus fabrique des redresseurs de 250 et 500 A sous 110 à 800 v ; lorsque le vide est fait avec soin, la chute de tension dans la vapeur de mercure est pratiquement constante pour tous les débits et égale à 16 à 18 v ; elle croît très peu lorsque le courant passe d'une valeur très faible à la valeur maximum. Par suite les bobines de self-induction dont on se sert pour régler et répartir également les courants entre les appareils branchés en parallèle, doivent être assez faibles

Si chaque redresseur est alimenté par un transformateur indépendant, il n'y a pas besoin de bobine de self-induction, la chute de tension des transformateurs suffit à régulariser le débit : ce montage est d'ailleurs celui qui présente la chute de tension la plus faible entre la marche à vide et la marche en charge. Cette solution a également l'avantage de l'interchangeabilité. Une bonne disposition consiste aussi à alimenter les redresseurs par des enroulements secondaires semblables d'un transformateur à enroulement primaire unique. Ces 2 procédés sont sensiblement équivalents ; ils permettent l'alimentation d'un seul appareil ou d'un nombre quelconque d'appareils en parallèle.

On peut aussi, pour obtenir un réglage plus parfait, alimenter chaque redresseur par l'intermédiaire d'une bobine de self induction ; ces bobines portent alors un certain nombre de spires qui peuvent être fermées en court-circuit sur chacune des bobines individuellement (fig. 1) ou bien

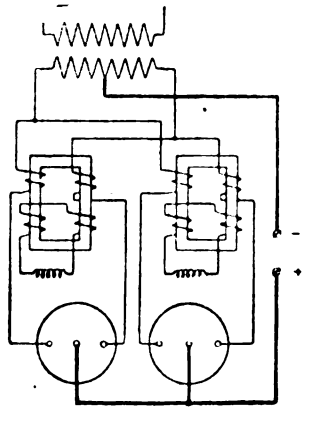


Fig. 1. — Bobines d'induction avec enroulement en court-circuit.

connectées d'abord en série et reliées ensuite en court-circuit (fig. 2).

Ces 4 procédés conviennent aussi bien à des redresseurs polyphasés qu'à des monophasés, en changeant simplement les connexions primaires ; la chute de tension dans ces conditions se maintient de 6 à 10 pour 100 entre la marche à vide et la marche à pleine charge. Néanmoins, par raison d'économie, dans le cas des redresseurs hexaphasés, on emploie de préférence une bobine de self-induction à 3 colonnes au lieu de 3 bobines distinctes (fig 2 bis). Les spires en court-circuit sont indispensables, sans elles la chute de tension atteindrait 14 à 20 pour 100 La figure 3 donne d'ailleurs les chutes de tension d'un redresseur avec ou sans enroulement de court-circuit sur la bobine. Par contre, on peut les supprimer, s'il s'agit de coupler les redresseurs en parallèle avec des groupes convertisseurs de fabrication ancienne.

On peut aussi remplacer les spires en court-circuit par une résistance inductive de valeur convenable de façon à régler la chute de tension entre 6 et 20 pour 100 suivant les cas.

Un cinquième procédé applicable aux redresseurs hexa-

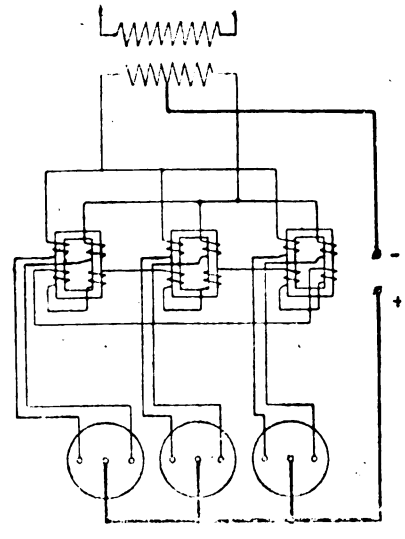


Fig. 2. — Marche en parallèle de 3 redresseurs avec bobines d'induction.

phasés est celui que représente la figure 4 et qui n'exige qu'une bobine à 2 branches au lieu de 3 Il faut avoir soin que les 6 enroulements magnétisent les noyaux toujours

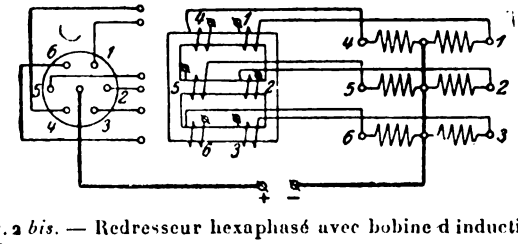


Fig. 2 *bis*. — Redresseur hexaphasé avec bobine d induction.

dans le même sens ; la régulation du courant est alors très énergique, et la chute de tension modérée.

L'emploi des bobines de self-induction abaisse le rende-

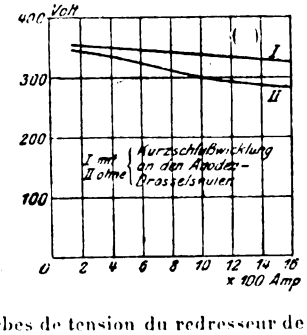


Fig. 3. — Courbes de tension du redresseur de la figure 2 *bis*.

ment global d'environ 1 pour 100. Le facteur de puissance est diminué dans les mêmes proportions pour les différents montages, sauf pour le premier pour lequel il s'abaisse de 3 à 5 pour 100. En général, le facteur de puissance d'un

Digitized by Google

redresseur à vapeur de mercure varie entre 0,9 et 0,98.

En ce qui concerne le réglage de la tension, il peut se faire en agissant sur le rapport de transformation du transformateur, grâce à la relation entre les tensions alterna-

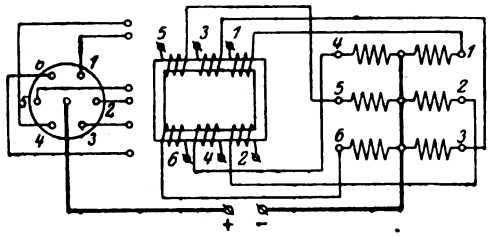


Fig. 4. — Bobine d'induction hexaphasée à induction continue.

tive et continue. On peut agir soit sur le nombre de spires primaires ou secondaires du transformateur, soit sur celui d'un transformateur supplémentaire comportant des prises reliées à un réducteur. Le transformateur auxiliaire peut être aussi à noyau plongeur avec ou sans enroulement fixé

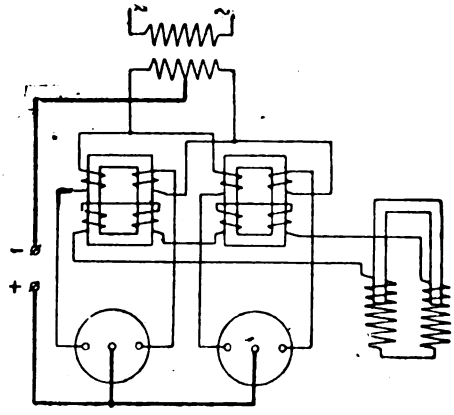


Fig. 5. — Réglage de la tension par bobines d'induction anodique et self-induction réglable

sur le noyau (dans ce dernier cas, il se réduit à une bobine de self-induction). Dans la plupart des installations importantes, on emploie un transformateur auxiliaire à prises de courant : quand l'installation est bien faite, le réglage de la tension alternative n'a pas de répercussion sensible du côté

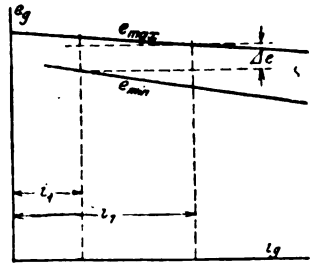


Fig. 6. — Limites de réglage de la tension par bobine à noyau plongeur.

continu. Pour des installations de moindre importance (10 à 20 kw), l'auteur a employé avec succès des bobines à noyau plongeur. Lorsque l'installation comporte un grand nombre de redresseurs, il est préférable d'employer le montage indiqué par la figure 5 dans lequel les bobines de self-induction ont leurs enroulements en série fermés sur une bobine régulatriee à plongeur. Avec ce montage, la chute de tension est plus régulière (fig. 6) et l'écart Δe

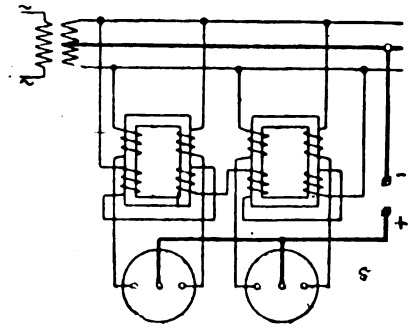


Fig. 7. — Réglage de la tension par bobines anodiques.

entre les tensions extrêmes que l'on peut obtenir est suffisant, même aux faibles charges, pour permettre la marche en parallèle avec n'importe quelle autre machine.

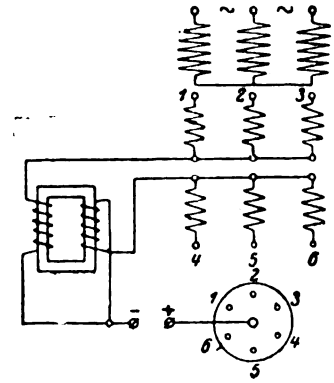


Fig. 8. — Montage des bobines système Brown Boveri.

L'emploi de transformateurs auxiliaires branchés, comme l'indique la figure 7, permet même, en inversant leurs connexions au transformateur principal, d'obtenir trois ten-

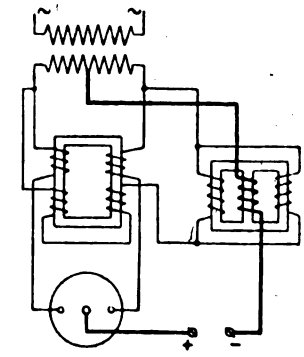


Fig. 9. — Régulation par compoundage.

sions différentes pour le même régime : on peut alors se passer de la bobine à noyau plongeur, surtout si le transformateur principal possède 2 sensibilités.

Le montage de la figure 8, adopté par la maison Brown

Digitized by Google

Boveri, comporte un transformateur triphasé à 6 bobines secondaires reliées par 3 en étoile et dont les tensions sont décalées de 60°. Par suite, le conducteur qui relie les deux points neutres est le siège d'un courant ondulatoire : la composante continue de ce courant ne fournit aucun flux à la bobine qu'il parcourt, puisque les deux enroulements sont montés en opposition; les composantes alternatives, au contraire, se superposent et la bobine leur oppose une réactance considérable. Il en résulte que la chute de tension du côté continu ne dépasse pas 2 à 3 pour 100 entre la marche à vide et la marche en pleine charge. Par contre, la bobine absorbe environ 10 pour 100 de la puissance du transformateur principal.

Enfin le montage représenté figure 9 permet non seulement de réduire la chute de tension totale à zéro, mais même, si l'on veut, d'obtenir une tension croissante avec la charge. C'est un véritable compoundage. Quand la charge augmente, le noyau de la bobine se sature; par suite, l'influence relative de cette bobine diminue et il en résulte une augmentation de la tension aux bornes du transformateur auxiliaire et, par suite, de la tension continue. L'étude de la courbe de magnétisation du fer de la bobine permet de prévoir l'allure de la tension en fonction de la charge et de la déterminer convenablement; il est possible, en tous cas, d'obtenir des surtensions de 10 à 15 pour 100 pour la pleine charge, ce qui est intéressant dans bien des cas, pour les distributions des réseaux de tramways par exemple, qui sont sujets à de fortes chutes de tension dans

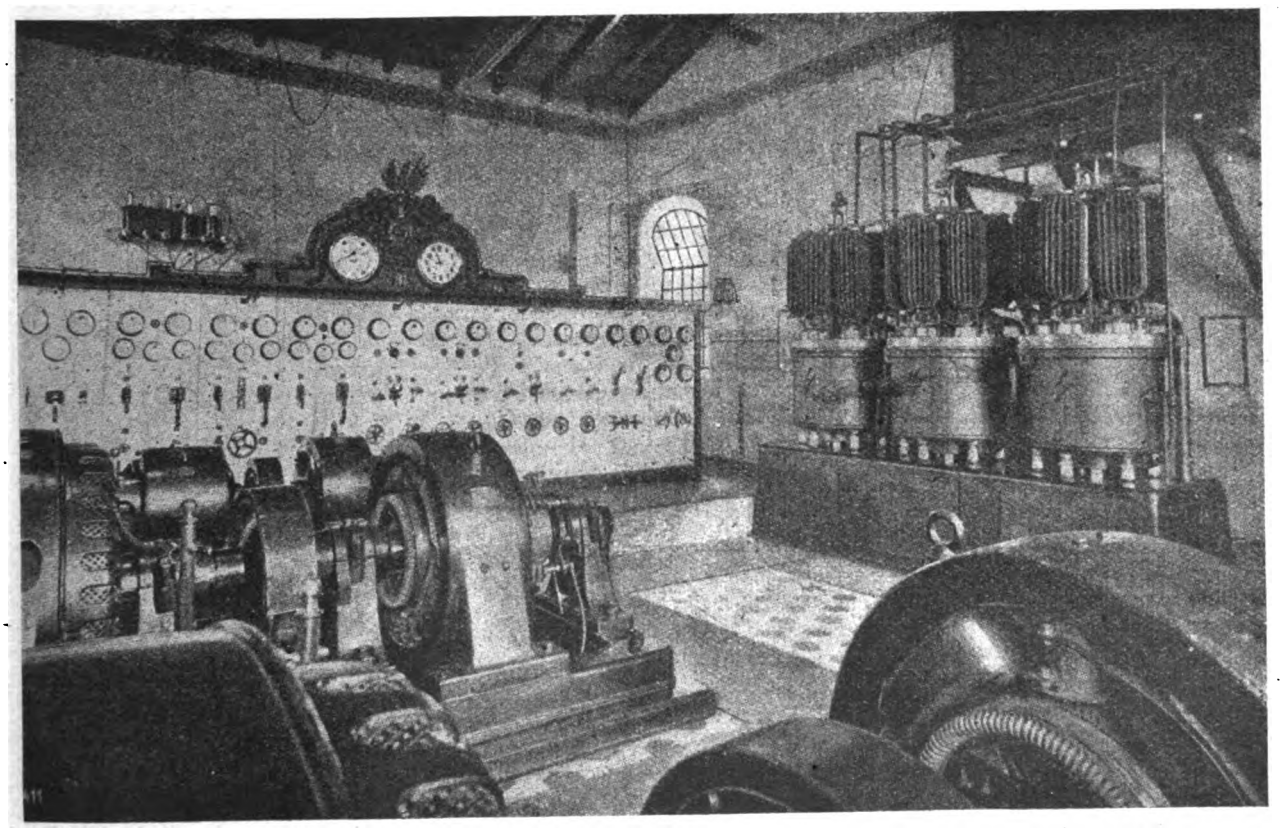


Fig. 10. — Groupe de redresseurs de la station d'Hirschberg.

les feeders au moment des démarrages. Il est d'ailleurs intéressant de faire remarquer que la tension peut être diminuée progressivement jusqu'à zéro, sans provoquer l'interruption du fonctionnement du redresseur : il suffit, dans ce cas, d'alimenter la cathode à l'aide d'un arc auxiliaire permanent qui sert d'excitateur ou d'amorceur.

L'auteur décrit, en terminant l'installation de la ville d'Hirschberg (fig. 10), qui comprend 3 redresseurs de 465 v, 540 a, dont un de réserve. Deux appareils marchent en parallèle et la tension est réglée par le moyen d'une bobine d'induction branchée sur la basse tension du transformateur principal hexaphasé. L'auteur annonce également la mise en service d'une installation de 16 000 a sous 250 v.

I. C.

La télégraphie sans fil dans les colonies françaises.

Divers projets ont été étudiés en vue de permettre à nos colonies de communiquer entre elles et avec la métropole au moyen de la télégraphie sans fil. Dans un article publié dans l' « Economiste français » du 11 janvier, M. G. Allix publie à ce sujet un article d'où nous extrayons les renseignements suivants.

I. — La situation actuelle. — Nous possédons actuellement, hors de la métropole, 35 stations de radiotélégraphie en service; 25 sont en cours d'exploitation, une vingtaine en projet.

En Afrique occidentale française, un réseau côtier qui s'étend de la Mauritanie (Port-Etienne au cap Blanc) à la

Digitized by Google

Côte-d'Ivoire, sans atteindre le Dahomey, est ouvert au public, mais exclusivement pour communiquer avec les bâtiments en mer, exception faite des dépêches entre Port-Etienne et Rufisque (cap Vert) qui ne sont pas reliés par un câble ; ces deux stations communiquent en outre avec deux postes établis à l'intérieur, en Adrar, A Kabara, près de Tombouctou, et à Nguigmi, au nord-ouest du lac Tchad, existent des postes de faible portée, le premier en relations avec la côte sénégalaise et le réseau sud algérien, le second avec l'Ouadaï (poste d'Abecher), le Borkou (Faya) et les oasis sahariennes de Bilma et d'Agadès ; ce dernier se conjugue avec la station de Fort-Lamy, sud-est du Tchad, qui communiquera avec le poste en construction de Bangui, et de là avec Brazzaville et le poste côtier de Loango ; le réseau du Tchad formera alors un nœud de communications entre nos possessions du Congo, du Soudan, du Sénégal et le Sud-Algérien.

Du côté de l'Océan indien, Madagascar est en relations avec les Comores par les postes de faible puissance de Majunga et de Diego Suarez, mais ne communique télégraphiquement avec aucune autre colonie et n'est rattachée à la métropole que par des câbles étrangers : on sent assez la gravité de ce fait.

L'Indo-Chine possède quelques stations côtières peu puissantes et celle d'Hanoï (portée 2 000 km), à quoi il faut joindre le petit poste édifié dans la concession française de Changaï. Les communications de la métropole avec l'Indo-Chine doivent emprunter les réseaux étrangers.

Nos possessions océaniennes sont encore plus isolées. La Nouvelle-Calédonie et Taïti ont construit, à leurs frais, les deux postes de Nouméa et de Papeete, et le condominium des Nouvelles-Hébrides en a mis un autre en service à Port-Vila ; ces stations font communiquer ces groupes d'îles entre eux ; mais nos colonies perdues au milieu du Pacifique ne sont rattachées aux autres colonies françaises ou à la métropole que par des postes étrangers ou par des câbles étrangers, dont le plus rapproché est à plusieurs milliers de kilomètres des établissements français. Enfin, aux Antilles, nous n'avons encore en service qu'une faible station à la Martinique.

* *

II. — Le projet Messimy. — Dès 1911, M. Messimy avait tracé le programme d'un réseau intercolonial de télégraphie sans fil et le 11 juillet 1912 un projet était présenté au Parlement par le Gouvernement. Il comportait d'abord deux stations conjuguées : l'une dans le Midi de la France, l'autre à Tunis (1 000 km) ; puis une série de postes puissants : Colomb-Béchar, relié à Tombouctou (1 680 km) et à Saint-Louis (2 420 km) ; Tombouctou à Bangui (2 800 km) ; Djibouti (4 000 km de Tunis), communiquant avec Bangui (2 800 km) avec Tananarive (3 375 km), avec Pondichéry (3 860 km). Cette dernière relation se serait prolongée vers Saïgon (2 900 km), de là sur Nouméa (7 350 km), puis sur Papeete (4 550 km) et les îles Marquises (1 360 km), d'où l'on comptait rejoindre par-dessus le Pacifique et l'Amérique centrale, la Martinique (9 000 km). Les 4 775 km qui séparent la Martinique de Saint-Louis auraient été le dernier anneau de cette chaîne de postes français ceinturant le globe terrestre. Le gouvernement évaluait la dépense à 16 695 000 fr pour quatorze postes, non compris ceux de Saïgon et de Tombouctou construits aux frais des colonies.

Ainsi qu'on le sait, ce projet ne fut pas exécuté, en raison des doutes émis sur la possibilité d'assurer les communications prévues.

« Cependant, écrit M. Allix, dès lors et sans faire état de nouvelles méthodes qui n'étaient pas encore tout à fait au point et n'avaient pas fait leurs preuves définitives, le projet du gouvernement n'était nullement chimérique. Les appareils en usage permettaient d'assurer l'exploitation commerciale satisfaisante (jusqu'à 60 mots par minute à certaines heures) de la communication entre Clifden (Irlande) et Glace-Bay (Canada) dont la distance est d'environ 4 000 km. La station allemande de Nauen, près Berlin, communiquait avec la colonie de Togo (4 850 km) et parfois avec le poste de Sayville aux États-Unis (6 300 km). Il est vrai qu'on niait chez nous ces derniers faits ; il fallut pourtant se rendre à l'évidence dès le début de la guerre : Nauen était bel et bien en relations suffisamment régulières avec le Togo, le sud-ouest africain, les postes allemands du Pacifique et celui de Sayville. On représentait aussi l'échange de quelques signaux entre la tour Eiffel et Fez (1 500 km) comme tout à fait exceptionnel ; cependant, dès la première campagne du Maroc, la tour avait assuré avec une puissance de 10 kw seulement un service de nuit régulier avec le « Kléber » ancré à Casablanca. Avec une puissance de 35 kw elle envoyait des signaux en Russie ou à des navires jusqu'à 3 000 km. »

L'utilisation des étincelles musicales devait d'ailleurs bientôt permettre d'augmenter la portée des postes. « C'est alors que fut décidée l'installation à la tour Eiffel d'un poste à étincelles musicales de 150 kw ; l'Indo-Chine et l'Afrique occidentale française commandèrent, pour Saïgon et pour Tombouctou, des appareils du même genre qui, réquisitionnés au début de la guerre et installés à Lyon et en Roumanie, ont pu faire entendre les communiqués à plus de 4 000 km par de très petits postes munis de récepteurs de vieux systèmes. Deux autres stations du même type, n'employant qu'une puissance infime de 5 kw, assurèrent, en Serbie, des liaisons régulières avec la France et permettent, à Taïti, des services commerciaux réguliers de jour et de nuit à plus de 2 000 km, portant parfois même jusqu'à 4 000 km et au delà ; par ce poste provisoire construit aux frais de la colonie, Taïti communique avec les Samoa, atteint la Nouvelle-Zélande et les îles Hawaï. »

Toutes les portées dont il vient d'être question sont du même ordre de grandeur que celles prévues au projet de 1912 ; seules auraient fait exception celles de Saïgon à Nouméa (7 350 km) et des Marquises à la Martinique (9 000 km). Aussi l'auteur conclut-il que « la principale cause de la résistance qu'a rencontrée le projet d'organiser le réseau intercolonial français de télégraphie sans fil paraît avoir été le désir de ne pas concurrencer les compagnies de câbles sous-marins. C'est donc, ajoute-t-il, la crainte d'avoir à payer à titre de garantie de recettes, une somme qui, aux termes des conventions en vigueur, ne saurait atteindre 1 370 000 fr dans l'hypothèse la plus défavorable, que l'État fait obstacle au développement de la télégraphie sans fil. C'est comme si, intéressé à l'exploitation des diligences, il se fût opposé à la création des chemins de fer. »

En terminant, M. Allix fait remarquer qu'on obtient aujourd'hui, avec des puissances de 500 kw, des communications régulières à plus de 6 000 km. La tour Eiffel reçoit les signaux de Darien (Panama) à 8 700 km, parfois de San Francisco (9 300 km) et de Honolulu (13 200 km) ; elle se fait entendre aux îles de la Sonde et en Nouvelle-Zélande. Les communications du poste de Lyon sont reçues au Congo belge (5 800 km, à travers le continent noir) et à Changaï.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Revues, analyses et informations

Les salaires et la vie chère.

Le « Moniteur des Intérêts matériels », de Bruxelles, dont la fondation remonte à soixante-neuf ans et qui a pris pour devise : « Tout ce qui a rapport au bien-être général, hormis la politique », vient de publier, dans son numéro du 8 janvier 1919, un fort intéressant article intitulé : « La vie chère », où sont magistralement exposées les causes diverses qui ont amené la cherté actuelle de toutes choses et sont examinées les répercussions de cette cherté. Nous ne pouvons ici suivre notre confrère dans l'exposé des causes, bien qu'en raison de son intérêt général cette question rentre dans le programme que nous nous sommes tracé; mais la place nous manque et nous devons nous borner à reproduire la partie de cette étude qui se rapporte à la hausse des salaires.

« Nous allons traverser une période transitoire, qui sera plus ou moins longue, d'autant moins longue que les mesures générales tendront à harmoniser l'offre et la demande.

» Or, à cet égard, une tendance se fait jour que nous tenons à signaler en criant : « Casse-cou! » Le pays, pour quelque temps encore, est anesthésié par les stupéfiants de toutes sortes que les Boches lui ont administrés à forte dose. Il se trouve donc dans une situation exceptionnelle. Et c'est sur cette situation que l'on table non seulement dans les administrations publiques, mais encore dans certaines grandes administrations privées, pour reviser le barème des traitements et salaires. Le mal — car c'en est un — menace de s'étendre par suite des revendications, parfaitement justifiées, par comparaison, de ceux qui n'ont point eu encore leur part de manne. Voit-on, immédiatement, où peut aboutir semblable système?

» La surélévation des services, instaurée à un moment où le libre jeu des forces économiques est faussé, menace de durer bien après que tout sera rentré dans l'ordre. Or, ce caractère de permanence donné à la rémunération du travail dans certains domaines doit, fatalement, entraîner une hausse concomitante de tous les produits, ainsi que le veut une inflexible loi naturelle. Dans le cas qui nous occupe, c'est la vie chère pour longtemps, aussi longtemps que des faits brutaux et graves ne viendront dessiller les yeux de ceux qui, agissant suivant les contingences immédiates, ne se préoccupent pas des répercussions que peuvent avoir leurs décisions.

» Dans un pays qui, comme le nôtre, vit de la transformation des produits bruts, le prix de revient est un élément à surveiller de très près; notre place sur les marchés du monde en dépend. Or, en forçant la valeur du travail incorporée dans nos produits d'exportations, on élève le prix de ces produits et compromet notre situation internationale. On nous mène ainsi tout droit à un affaiblissement de notre puissance industrielle.

» Nous nous disculperons tout de suite de l'accusation que l'on voudrait nous lancer de sacrifier le présent à l'avenir. Nous sommes parfaitement d'accord que le travailleur de tout grade, manuel ou intellectuel, doit vivre et, dès lors, doit voir ses moyens mis en rapport avec les exigences de la vie. L'objection que nous soulevons ici ne vise pas le principe, mais l'application qu'on en fait.

» Le système employé est mauvais pour deux raisons : d'abord, parce que les augmentations de rémunération du travail sont faites au petit bonheur, sans être établies sur des bases scientifiques irréfragables, comme elles devraient l'être. En second lieu — et ceci découle de cela — les indemnités accordées pour équilibrer chez les salariés les ressources avec les besoins, dans les circonstances *exceptionnelles* où nous vivons, devraient avoir un caractère temporaire, parfaitement connu des intéressés et admis par eux.

» Quant au premier reproche, que voyons-nous? Dans les grandes administrations publiques, on se borne à augmenter les traitements de tant pour cent, en donnant, en outre, aux employés des indemnités de vie chère. La dualité de ces rémunérations extraordinaires implique, en ce qui concerne les premières, un caractère de pérennité dangereux, parce qu'il n'a pas de base.

» Il eût été si simple, nous semble-t-il, de prendre, parmi les produits usuels nécessaires à la vie, un certain nombre d'articles les plus courants, d'en établir les prix au mois d'août 1914 et les prix actuels. L'augmentation pour cent ressortant nette et précise de cette comparaison, on aurait pu calculer, même largement, ce qu'il faut de ces produits à un être humain pour mener une vie décente et, de là, en tenant la balance égale pour tous, chiffrer les indemnités au prorata du nombre de personnes dont chaque travailleur a la charge. Nous n'inventons rien : les *index numbers* de Sauerbeck et de l'*Economist* existaient. Ceci n'en est qu'une application. Quant aux calculs du minimum indispensable à l'homme, ils ont été faits très minutieusement par un grand nombre de sociologues et l'on n'a que l'embarras du choix [1].

» Le salarié, sachant que ces suppléments extraordinaires de paiement qu'on lui accorde sont calculés sur des bases sérieuses, ne songerait pas à s'offusquer de les voir réduits à un moment donné, où ils ne correspondent plus à

[1] Il est bien entendu que notre idéal n'est pas l'application stricte de la loi d'airain limitant aux nécessités de vivre la part de la main-d'œuvre. Mais il s'agit ici d'une période transitoire durant laquelle il faut que le commerce et l'industrie puissent d'abord renaître et faire saillir à nouveau le *bénéfice*, quelle qu'en soit la répartition. Cette première étape est hérissée de difficultés que des exigences prématurées ne feront qu'accroître, tout en retardant le retour à une situation plus normale.

Digitized by Google

la réalité. Le travail de revision des prix étant fait de mois en mois, les indemnités épouseraient étroitement la courbe des besoins. De la sorte, insensiblement, et sans souffrance pour personne, on en arriverait à la période normale. Qu'à ce moment l'on constate que les rémunérations sont encore supérieures à ce qu'elles étaient en 1914, c'est possible. Mais, au moins, une stabilisation des salaires pourra, dès lors, s'effectuer sans danger, la norme sera reconquise et on aura évité l'écueil vers lequel il nous semble qu'on gouverne tout droit : la vie chère au delà des limites normales. »

Assemblées générales

Société Norvégienne de l'Azote et de Forces hydro-électriques.

Assemblée générale ordinaire du 25 novembre 1918.

L'exploitation a été satisfaisante durant l'exercice dernier. Les conditions de débit des rivières alimentant les usines hydro-électriques de la Société et celles de ses filiales, ont été très favorables par suite des pluies fort abondantes de l'automne 1917, les bassins-réservoirs sont restés complètement pleins jusqu'à la fin de novembre. Le nombre total de kilowatts fournis par les usines génératrices a été un record.

Les prix des matériaux ont beaucoup varié sur le marché norvégien, ils ont au début de l'année subi une hausse qui a atteint 50 pour 100. Plus tard, grâce surtout aux accords avec les Etats-Unis, ils ont baissé et sont revenus à peu près à ce qu ils étaient à la fin de juin 1917. La plus grande partie des matières premières est venue de l'étranger et les prix ont subi une hausse régulière.

L'exploitation des usines a été satisfaisante, quoique dans les derniers mois de l'exercice la production ait dû être réduite par suite des difficultés ouvrières.

Les produits ont été placés à des prix favorables. Il y a eu de fortes demandes de nitrate engrais pour la Scandinavie et surtout pour la Norvège. La nécessité d'augmenter les récoltes du pays afin qu'il se suffise à lui-même a été une des causes de l'élévation considérable de la consommation de ce nitrate.

Le chemin de fer entre Notodden et Menstad est achevé, et depuis décembre il a été mis provisoirement à la disposition des voyageurs.

La Société filiale des chutes de Tyin, a commencé la construction d'une usine génératrice provisoire, ainsi que d'un certain nombre d habitations ouvrières, dans l'Aardal-Sogn, elle a aussi poursuivi les travaux du long tunnel principal antérieurement commencé.

Les actions de la Société des chutes du Matre ont été réalisées à peu près à prix coûtant. Les acheteurs ont conclu un accord pour la reprise en partie des avances faites à cette Société. Lors de ce compte il y a eu une différence de 1 226 138,93 kr, cette perte a été portée au compte de profits et pertes.

La construction de logements convenables pour les employés et ouvriers s'est continuée malgré les prix extraordinaires actuels des matériaux de construction. Des allocations ont été attribuées au personnel.

Les recettes des usines de Svælgfos-Notodden ont été de 34 232 634,09 kr et les dépenses de 23 495 816,25 kr. Le bénéfice d'exploitation atteint 10 736 807,84 kr.

Le solde du compte de profits et pertes est de 18 488 866,15 kr, le report précédent était de 2 233 931,85 kr. Sur ce total il est prélevé diverses réserves, impôts et amortissements. Le solde à répartir s'élève à 9 010 493,43 kr.

Il est distribué un dividende de 12 pour 100. Aux actions de préférence n°s 1 à 25 002 contre coupon n° 11, 21,60 kr ou 30 fr; aux actions ordinaires n°s 1 à 295 218 contre coupon n° 10, 60 kr soit 30 fr.

Le report à nouveau est de 9 010 493,43 kr.

Bilan au 30 juin 1918.

Actif.

	kr
Immeubles à Christiania	409 431,14
Chutes de Svælgfos. Terrains et droits divers, etc.	4 560 947,70
Usines hydro-électriques et électrochimiques de Svælgfos-Notodden, etc. Maisons d'habitation, baraquements et annexes	19 859 376,95
Travaux de régularisation	1 764 792,24
Actions de la Société de Svælgfos	811 000 »
Id. id. de Rjukanfos	66 396 000 »
Id. id. de Norvégienne de Transports	4 056 900 »
Actions de la Société des chutes de Tyin	6 037 000 »
Id. de « The Nitrate Trading Co », Londres	77 744,20
Id. de la Société de vente du nitrate de Norvège	44 000 »
Valeurs diverses	8 791 578,64
Brevets	7 582 385,74
Société de Svælgfos	2 019 497,05
Id. de Rjukanfos	6 251 454,56
Id. Norvégienne de Transports	1 664 369,14
Id. des chutes de Tyin	284 011,99
Clients et débiteurs divers	43 669 379,91
Mobilier	22 »
Matériaux	2 584 891,74
Matières premières en magasin	2 706 118,11
Produits fabriqués, vendus, à livrer, mais non encore facturés	2 104 973,31
Produits en cours de fabrication	376 959,23
Espèces en banques	9 488 433,02
Caisse	67 925,32
Total	191 609 191,99

Passif.

	kr
Capital Actions de préférence. N°s 1 à 25 002	4 500 360 »
Id. ordinaires. id. 1 à 295 218	53 139 240 »
Société pour l'acquisition d'annuités	65 388 960, »
Dette hypothécaire (immeubles à Christiania)	258 929, 16
Comptes créditeurs	20 751 545, 52
Capital des rentes foncières à servir	247 392, »
Fonds de réserve	3 711 830, 03
Réserve extraordinaire	8 000 000, «
Fonds pour la construction d'un nouvel immeuble administratif à Christiania	1 500 200, »
Fonds d'amortissement	13 388 137, 28
Report à nouveau de l'exercice précédent	2 233 931, 85
Solde du compte de profits et pertes	18 488 866, 15
Total	191 609 191, 99

Digitized by Google

SECTION DE LÉGISLATION

Notes sur l'application pratique de la loi du 15 juin 1906 et des règlements annexes (*suite*) (1)

Sixième article faisant suite aux notes publiées antérieurement; le lecteur y trouvera des renseignements relatifs à l'application de l'article 8 de la loi du 15 juin 1906 sur l'équivalence des charges d'une nouvelle concession dans le cas de la préexistence d'une autre concession. La procédure à suivre et les garanties à exiger du demandeur en concession sont aussi indiquées pour une demande de concession, quand il existe déjà dans la commune une concession de gaz avec privilège; les communes placées dans cette situation doivent apporter la plus grande circonspection dans l'octroi de la concession concurrente. Enfin, comme pour les articles précédents, l'auteur donne des renseignements sur quelques questions techniques et sur certains cas d'application des redevances.

Questions techniques. — CHEMIN DE HALAGE D'UNE RIVIÈRE CANALISÉE. — EMPRUNT PAR UNE CANALISATION ÉLECTRIQUE. — CONDITIONS D'AUTORISATION.

Quand un permissionnaire demande à emprunter pour l'établissement d'une ligne électrique le chemin de halage d'une rivière canalisée, l'article 8 du décret du 3 avril 1908 n'a pas à recevoir son application et l'Administration n'a pas à intervenir pour accorder ou refuser une autorisation d'occupation que, seuls, les propriétaires riverains ont le pouvoir de délivrer, les chemins de halage appartenant non à l'État, mais aux riverains.

Toutefois, en raison de la servitude de halage, établie sur les propriétés riveraines, au profit de la navigation, il y a lieu, pour le cas où les propriétaires du chemin de halage en autoriseraient l'occupation, de déterminer les conditions nécessaires pour que l'établissement de la ligne électrique ne soit pas susceptible d'entraver le service de la navigation.

Dans cet ordre d'idées, il convient de signaler les conditions suivantes :

a) La largeur libre pour le halage ne doit pas être inférieure à 9,75 m, servitude imposée par la loi ou à la largeur moindre régulièrement approuvée par arrêté ministériel, cette servitude étant comptée à partir de la crête de la berge;

b) Dans le cas où il existerait des constructions ou clôtures, empiétant sur la limite de la servitude, les supports de la canalisation ne feront aucune saillie sur la façade (côté halage) de ces constructions ou clôtures, lesdits supports devant soit passer au-dessus ou en arrière de ces constructions ou clôtures, soit, si la chose est possible, être encastrés dans les clôtures mêmes;

c) Le permissionnaire s'engagera à reporter à ses frais la ligne électrique à la limite de la zone de servitude dans le cas où les intérêts de la navigation l'exigeraient et à effectuer à ses frais, le cas échéant, les modifications qui seraient reconnues nécessaires pour l'installation et l'utilisation d'une ligne, destinée à permettre le halage électrique.

Concession. — CAHIER DES CHARGES. — ARTICLES 8 ET 27 DE LA LOI DU 15 JUIN 1906. — ÉQUIVALENCE DES CHARGES ENTRE DEUX CONCESSIONS.

Une commune fait une fausse application du premier alinéa de l'article 8 de la loi du 15 juin 1906, quand, pour maintenir l'équivalence des charges, elle impose à une nouvelle concession, soumise au cahier des charges type du 17 mai 1908, les même redevances qu'à une concession ancienne, antérieure à la loi.

En effet, cette dernière concession maintenue dans sa forme et teneur par l'article 26 de la loi du 15 juin 1906, reste régie par les clauses de l'acte de concession qui l'a établie, sans être soumise aux charges qui résultent de la loi du 15 juin 1906.

Le concessionnaire (1) ne peut, par contre, se réclamer des dispositions de la nouvelle législation qui lui seraient favorables et notamment du premier alinéa de l'article 8, relatif aux entreprises concurrentes.

Tel est le principe général qui doit guider la commune dans l'établissement du cahier des charges de la nouvelle concession, sauf à s'inspirer, suivant les espèces, de considérations d'équité ordinaires.

Cette manière de voir se trouve renforcée quand la concession ancienne porte sur tous usages et comporte un privilège pour l'éclairage public et privé, tandis que

(1) Voir les numéros de la *R. G. E.* des 21 septembre, p. 435; 16 novembre, p. 735; 30 novembre, p. 853; 28 décembre 1918, p. 1 027, t. IV, et 11 janvier 1919, p. 79, t. V.

(1) Sauf, bien entendu, si son cahier des charges contient des dispositions spéciales à cet égard.

Digitized by Google

les nouvelles concessions n'ont trait qu'aux usages autres que l'éclairage. Il est particulièrement impossible dans ce cas d'établir une assimilation complète entre les deux concessions et il y a lieu, en ce qui concerne les redevances à leur imposer, de tenir compte de la distinction prévue par l'article 3 du décret du 17 octobre 1907, qui prévoit un tarif supérieur à appliquer aux distributions d'énergie pour l'éclairage.

Concession. — CONCESSION EXISTANTE AVEC PRIVILÈGE. — DEMANDE DE DISTRIBUTION CONCURRENTE PAR CONCESSION.

Quand, dans une commune, existe une concession de gaz avec droit exclusif de poser des canalisations sur la voie publique pour la distribution de l'éclairage (1) et qu'un demandeur en concession d'éclairage se présente, il convient, d'une manière générale, de procéder comme il suit :

1° Procédure à suivre. — Une fois le projet de cahier des charges arrêté entre la commune et le demandeur, après avis préalable de l'Administration, la commune doit adresser cette pièce au concessionnaire du gaz et le mettre régulièrement en demeure de l'accepter.

Si la Compagnie du gaz accepte ce cahier des charges, la commune ne peut se refuser à lui donner la concession d'éclairage électrique.

Si elle ne l'accepte pas, il y a lieu, à défaut d'entente amiable, de nommer des experts pour solutionner l'affaire, par application du traité existant (2).

Ce n'est qu'après l'accomplissement préalable de ces formalités et suivant les résultats de cette procédure que la commune peut utilement envisager l'octroi de la concession de l'éclairage électrique avec les risques d'un procès, s'il y a lieu.

2° Garantie à exiger du demandeur en concession. — Il y a lieu en même temps d'inviter le demandeur en concession à garantir la commune, non seulement contre les frais du procès éventuel, mais aussi contre les dommages-intérêts, et d'une manière générale, contre tous les risques à encourir, quels qu'ils soient.

Cette garantie, s'il s'agit d'une société demanderesse, devra être régulièrement donnée par l'Administrateur délégué, dûment autorisé à cet effet par délibération du Conseil d'Administration.

La commune, avant de courir les risques d'un procès, devra évaluer ces risques et examiner si la garantie donnée est efficace pour les finances communales.

(1) Rédaction de la clause.

ART. ... — Le maire de la ville de ... accorde à la Compagnie du gaz le droit exclusif de conserver et d'établir des tuyaux et appareils nécessaires à la fabrication et à la distribution du gaz, et ce, pendant une période de trente années consécutives qui prendront cours le jour de l'approbation des présentes par l'autorité préfectorale.

(2) Rédaction de la clause.

ART. ... — La Compagnie se réserve le droit, pendant toute la durée du présent traité, d'appliquer à la production du gaz les procédés les plus avantageux et les plus économiques, mais dans le cas d'une découverte sérieuse et incontestée relative à la fabrication du gaz ou à tout autre procédé d'éclairage aussi avantageux et plus économique qui viendrait à être adopté à titre d'établissement définitif par la Ville de Paris, dans une proportion notable de ladite Ville et dans une ville de province au moins de l'importance de ... et actuellement éclairée au gaz, la Compagnie sera tenue d'en faire bénéficier la ville et les particuliers dans une proportion qui sera déterminée, soit à l'amiable entre les parties, soit par experts; dans ce cas, la franchise accordée par l'article ... serait applicable aux matières nouvelles.

Concession. — CONCESSION EXISTANTE AVEC PRIVILÈGE D'ÉCLAIRAGE. — IMPOSSIBILITÉ D'AUTORISER UN ÉCLAIRAGE COLLECTIF.

Quand une commune a accordé, avant ou après la loi du 15 juin 1906, une concession d'éclairage électrique avec privilège, une collectivité de particuliers ne peut être autorisée à emprunter les voies publiques pour distribuer l'éclairage électrique dans des immeubles leur appartenant, cette distribution offrant les caractères d'une distribution publique.

Questions techniques. — TRAVERSÉE DES VOIES PUBLIQUES. — INUTILITÉ DES FILETS PROTECTEURS.

Il n'y a pas lieu de recourir systématiquement à l'emploi de filets protecteurs dans les traversées de voies publiques, même dans le cas de courants de deuxième catégorie, ce dispositif de sécurité offrant plus d'inconvénients que d'avantages.

L'arrêté technique assure la sécurité des traversées par l'emploi des moyens suivants, en particulier dans le cas de courants de deuxième catégorie, savoir :

a) hauteur minimum de 8 m;

b) absence d'épissure et de soudure, non seulement dans la traversée même, mais aussi dans les portées contiguës;

c) arrêt des conducteurs sur les isolateurs, des supports de la traversée et sur les isolateurs des supports des portées contiguës;

d) mesures spéciales pour que les conducteurs au cas où ils viendraient à abandonner l'isolateur, soient encore retenus et ne risquent pas de traîner sur le sol ou de créer des contacts dangereux. On peut à cet effet employer notamment des étriers, des cadres de garde, etc.;

e) valeur du coefficient de sécurité au moins égale à 5.

Toutefois, indépendamment de ces prescriptions générales, le Service du Contrôle reste juge d'imposer telles autres prescriptions qu'il estime nécessaires dans des cas particuliers, si ces prescriptions supplémentaires sont justifiées par les circonstances.

Questions techniques. — TRAVERSÉES DES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES ET TÉLÉPHONIQUES PAR UNE LIGNE DE TRACTION. — MESURES DE CONSOLIDATION.

Quand une canalisation électrique doit nécessairement être placée au-dessous de lignes télégraphiques et télé-

Digitized by Google

phoniques, par exemple, dans le cas d'une ligne de traction, qui les traverse, il y a lieu de consolider les lignes de l'Etat, afin d'empêcher leur rupture et leur chute ; il n'y a pas lieu d'adopter un dispositif de protection, consistant en des filets.

Questions techniques — DIFFÉRENCE ENTRE LES BRANCHEMENTS ET LES LIGNES SECONDAIRES. — ARTICLE 10 DU DÉCRET DES 17 OCTOBRE 1907-7 SEPTEMBRE 1912 SUR L'ORGANISATION DU CONTROLE.

Ne peut être considéré comme branchement, mais constitue au moins une ligne secondaire, une ligne qui, bien qu'elle n'alimente qu'un seul abonné, part d'un poste de transformation et emprunte ou traverse des voies publiques, non encore atteintes par les lignes de réseau.

On peut, au contraire, considérer en général comme « branchements » des canalisations accessoires établies pour desservir des abonnés et n'empruntant ou ne desservant que des parties des voies publiques sur lesquelles le contrôle s'exerce déjà en raison de l'existence de la ligne alimentaire sur laquelle se fait le raccordement.

Aux lignes principales et secondaires ne s'appliquent pas les exemptions de frais de contrôle et de redevances, prévus par les décrets du 17 octobre 1907 et 7 septembre 1912 en faveur des « branchements ».

Permission de voirie. — ETABLISSEMENT D'UNE VOIE FERRÉE D'INTÉRÊT GÉNÉRAL ET LOCAL. — MODIFICATION D'UNE CANALISATION ÉLECTRIQUE DÉJA ÉTABLIE.

Quand l'établissement d'une canalisation électrique a été autorisé par permission de voirie sous la réserve que « le permissionnaire devra, à toute époque et sans indemnité, apporter à son installation les modifications que l'Administration pourrait lui prescrire, soit dans l'intérêt de la sécurité publique, soit même en vue de permettre l'établissement d'autres canalisations électriques, ou pour tous travaux à exécuter sur les chemins empruntés et traversés », le permissionnaire est tenu d'exécuter à ses frais et sans indemnité les travaux nécessaires de modification en vue de l'établissement d'une voie ferrée d'intérêt général et local.

Redevances. — DISTRIBUTION PAR UNE COMPAGNIE DE TRAMWAYS. — CALCUL DES REDEVANCES.

Quand une Compagnie de tramways est autorisée, en vertu de permissions de voirie ou de concessions, à distribuer l'énergie électrique dans certaines des communes qu'elle traverse, il y a lieu, pour le calcul des redevances, de se conformer aux règles générales ci-après :

1° Le calcul des redevances doit être fait commune par commune ;

2° Le concessionnaire ou permissionnaire a la faculté de demander l'application du système de redevance, basée sur le pourcentage des recettes à condition de soumettre ces recettes dans la commune à la vérification du Service du contrôle ; mais la commune a le droit, sauf stipulation spéciale du cahier des charges, de refuser la demande et d'exiger l'application du système de redevance, basée sur la longueur kilométrique ;

3° Une même distribution peut être soumise dans les diverses communes traversées à des règles différentes ;

4° Si les canalisations, traversant une commune, ne font pas de distribution en cours de route, la redevance à appliquer doit être basée sur la longueur kilométrique ;

5° Si une commune demande au Service du contrôle la communication périodique des recettes recouvrées pour la distribution sur son territoire par un permissionnaire qui a choisi le régime des redevances proportionnelles aux recettes, il y a lieu de lui donner satisfaction.

Redevances. — DISTRIBUTION PAR UNE COMPAGNIE DE TRAMWAYS QUI ACHÈTE LE COURANT. — FRAIS DE CONTROLE ET REDEVANCES A PAYER POUR LES CANALISATIONS EXTÉRIEURES.

Quand les lignes de tramways électriques d'une Compagnie sont alimentées au moyen de postes qui reçoivent le courant d'une ou de plusieurs stations centrales n'appartenant pas à la Compagnie et ne faisant pas partie de la concession du tramway, par l'intermédiaire de canalisations extérieures, servant d'artères d'alimentation, ces canalisations doivent supporter les frais de contrôle et les redevances, imposés aux ouvrages de distribution par les décrets des 17 octobre 1907 et 7 septembre 1912.

Si les postes sont établis sur le domaine public, il n'y a pas lieu de leur faire payer les redevances, car ils font partie de la concession du tramway, pouvant être assimilés aux postes centraux des distributions concédées.

Sont aussi exemptes des frais de contrôle et des redevances, imposés aux ouvrages de distribution, les canalisations s'étendant depuis les postes jusques et y compris les lignes de travail du tramway.

Redevances. — LEUR NON-APPLICABILITÉ AUX TRAMWAYS ÉLECTRIQUES QUI NE DISTRIBUENT PAS L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE AUX PARTICULIERS.

Ne sont pas applicables aux canalisations d'un tramway électrique qui ne distribue pas l'énergie électrique aux particuliers, les redevances, prévues par les décrets des 17 octobre et 7 septembre 1912, et cela, même si la concession de ce tramway est postérieure au 15 juin 1906.

Il n'en est pas de même si le concessionnaire du tramway distribue l'énergie électrique au Public.

A. MONMERQUÉ,
Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Digitized by Google

Législation, jurisprudence, réglementation

Décret rendant la direction des réseaux aux administrations qui en sont chargées en temps de paix.

Un décret pris en date du 2 février 1919 et publié au « Journal officiel » du 3 février 1919, p. 1278, rend aux compagnies de chemins de fer la direction de leurs réseaux, mais, dans certaines conditions, nous donnons ci-dessous le texte de ce décret :

Article premier. — A partir du 10 février 1919 et jusqu'à la cessation des hostilités, par dérogation aux prescriptions du décret du 5 février 1889 et du règlement du 8 décembre 1913, le fonctionnement de tous les chemins de fer, à l'exception des lignes en cours de reconstitution après destruction totale ou partielle et de celles exploitées par les sections françaises de chemins de fer de campagne ou par les armées alliées, sera assuré par les administrations qui en sont chargées en temps de paix et cela dans les conditions fixées par les cahiers des charges, les conventions, les règlements et les tarifs en vigueur, mais sous les réserves qui suivent :

a) Les réseaux devront exécuter par priorité absolue les transports indispensables pour les armées françaises et les armées alliées, suivant la nomenclature arrêtée par le ministre des travaux publics et des transports, sur la proposition du directeur général des transports militaires ;

b) Les réseaux seront tenus de se conformer aux ordres et programmes généraux de transport qui leur seront notifiés dans le but de l'intérêt général, par le ministre des travaux publics et des transports, agissant par délégation de l'autorité militaire ;

c) Pour les autres transports à petite vitesse non compris dans les paragraphes *a*) et *b*) ci-dessus, le point de départ des délais de transport est fixé :

1° Pour les marchandises manutentionnées par le public, au jour où le chargement des wagons est terminé, à moins que le chemin de fer n'en refuse la prise en charge pour défectuosité de chargement ;

2° Pour les marchandises dont la manutention incombe au chemin de fer, au jour où, le chargement sur wagon pouvant avoir lieu, le chemin de fer les prend en charge.

Pour les marchandises de cette dernière catégorie, il est tenu, dans chaque gare, un registre spécial sur lequel seront inscrites, sur la demande des intéressés et dans leur ordre de présentation, les expéditions de plus de 300 kg qui n'auraient pu être acceptées par défaut de matériel. Ce registre sera communiqué, sur leur demande, aux expéditeurs dont les envois auront été ajournés ;

d) Pour les transports à grande vitesse autres que ceux visés par les paragraphes *a*) et *d*) ci-dessus et ceux des denrées périssables et pour les transports à petite vitesse jusqu'à 300 kg, les administrations auront le droit de prononcer, pour des gares déterminées ou pour l'ensemble de leur réseau, des limitations du nombre des expéditions faites soit par un même expéditeur à des destinataires quelconques, soit par un même expéditeur à un même destinataire après avoir fait constater par les commissaires du contrôle de l'État sur les chemins de fer, la nécessité de ces restrictions.

Les lignes en reconstruction ou exploitées militairement rentreront dans le régime général à partir de la date qui sera fixée pour chacune d'elles par un arrêté du ministre des travaux publics et des transports sur la proposition du directeur général des transports militaires, les administrations des réseaux entendues.

Art. 2. — Jusqu'à la cessation de la réquisition des chemins de fer, un commissaire militaire sera placé à côté du directeur de chaque grand réseau pour établir la liaison avec l'autorité militaire, surveiller l'exécution des transports militaires et pour diriger les travaux militaires et les travaux de réfection des voies de communication exécutés par des unités militaires ou avec le concours de l'autorité militaire.

Ce commissaire sera secondé, si c'est jugé nécessaire, par des commissaire militaires placés auprès des chefs d'arrondissement inspecteurs principaux et chefs de gare.

Le commissaire militaire placé à côté du directeur du réseau exerce les attributions d'un chef de corps à l'égard du personnel militaire ou militarisé de ce réseau.

Les commissaires militaires placés près des chefs de gare sont particulièrement chargés de diriger le service d'ordre et de police dans la gare et de transmettre les communications de l'autorité militaire.

Art. 3. — Sont abrogées les dispositions contraires au présent décret.

Art. 4. — Le président du conseil ministre de la guerre, et le ministre des travaux publics et des transports sont chargés, chacun en ce qui les concerne de l'exécution du présent décret.

ERRATUM

M. Fiévez nous signale les erreurs suivantes qui se sont glissées dans son article « Les débouchés de l'industrie électrotechnique en Belgique » publié dans la « R. G. E. » du 28 décembre 1918, t. IV, p. 1021.

Page 1021, 2e col., 10e ligne, *lire* 2,92 centimes par kilowatt-heure, *au lieu de* 2,92 fr par kilowatt-heure.

Page 1022, 2e col., dernière ligne, et page 1023, 1re col., première et deuxième ligne, *lire* soit 22 millions de tonnes, alors que la consommation française était de 40 millions de tonnes, *au lieu de* soit 44 millions de tonnes, alors que la consommation française était de 30 millions de tonnes.

Page 1025, 1re col., 4e ligne, *lire* des marchés dès le wagon, *au lieu de* des marchés dans le wagon.

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF :
Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 7. — 15 FÉVRIER 1919

Chronique. — Société belge d'électriciens. — Les unités de puissance et de travail d'après un ouvrage récent. — Sur l'orthographe d'un mot technique : cation. — Bibliographie : L'Ouvrier moderne; L'Eveil de l'esprit public, par Henri FAYOL, p. 241-242.

Section scientifique et technique. — Etude sur les maxima de surpression dans les phénomènes de coups de bélier. Transmission du coup de bélier le long de la conduite, par C. CAMICHEL, D. EYDOUX et M. GARIEL, p. 243. — Revues, analyses et informations : Equations caractéristiques des lampes à filament de tungstène et leur application à la photométrie hétérochrome, p. 252.

Section industrielle. — Réglage de la vitesse des moteurs d'induction par couplage en cascade, par G. DARRIEUS, p. 257. — Les chaudières avec réchauffeurs d'air, par J. R., p. 265. — Revues, analyses et informations : Procédé et dispositifs pour accroître la sélectivité des circuits électriques, p. 270; Relèvement du prix de vente de l'électricité à Pau, p. 274.

Section économique et financière. — Revues, analyses et informations : Le travail américain pendant la guerre, p. 275; Les Offices de placement, p. 277. — Assemblées générales : Société d'Electricité de Paris, p. 278; Tréfileries et laminoirs du Havre (anciens Etablissements Lazare Weiller, Société coopérative de Rugles et La Canalisation électrique réunis), p. 279; Compagnie générale d'Electricité, p. 279.

Société belge d'Électriciens. — Interrompue pendant quatre ans et demi la publication du « Bulletin de la Société belge d'Electriciens » vient de reprendre.

Nous venons en effet de recevoir les deux derniers numéros parus : l'un est daté d'août 1914, l'autre porte simplement les millésimes 1915-16-17-18; pendant ces quatre années la Société belge d'Electriciens ne se courba jamais sous la censure allemande.

Le second de ces numéros était d'ailleurs sur le point de paraître lorsque les Allemands violèrent la neutralité de la Belgique. Il devait être presque entièrement consacré à une importante étude de M. Philippe Banneux, ingénieur principal honoraire du corps des mines, sur la « Théorie des courants polyphasés ». Il a fallu malheureusement le compléter par une notice nécrologique à la mémoire d'Éric Gérard, mort à Paris durant la guerre. Nous n'avons pas à revenir ici sur les services que le savant directeur de l'Institut électrotechnique à rendu à l'industrie électrique de tous les pays : ils ont été rappelés dans les notices que « La Lumière électrique » et la « Revue électrique » ont fait paraître lors de son décès. Associons-nous toutefois au rédacteur de la notice, M. Em. Piérard, président de la Société belge des Electriciens, lorsqu'il écrit dans sa péroraison :

« Avec Eric Gérard disparaît le premier des électriciens belges, comme on l'appelait à l'étranger; le directeur du premier institut électrotechnique, qu'avec un rare bonheur et grâce à sa perspicacité, à son profond jugement, à son expérience consommée, à sa prudence réfléchie, à son travail tenace, à ses connaissances sans cesse développées, il sut conduire aux plus hautes destinées; l'initiateur de l'électrotechnie en Belgique, le promoteur de son développement : une de nos plus pures gloires nationales! »

Mais si Eric Gérard n'est plus, son enseignement a formé de nombreux ingénieurs qui sauront répondre à l'appel que lance le bureau de la Société belge d'Electriciens dans la préface de son dernier « Bulletin ». « Isolés du monde civilisé pendant plus de quatre ans, écrit-il, remettons-nous avec ardeur au travail; ce n'est certes pas celui-ci qui manquera aux « électriciens ».

Les unités de puissance et de travail d'après un ouvrage récent. — Il est vraiment fâcheux de constater qu'au moment où de très grands efforts sont faits pour arriver à l'unification de tout ce qui est susceptible d'être unifié, certains ingénieurs s'obstinent à méconnaître les règles d'unification, cependant déjà anciennes, qui régissent la nomenclature des grandeurs et unités électriques.

Nous lisons, en effet, dans un ouvrage récemment publié par un ingénieur sortant d'une école parisienne dont l'enseignement est des plus appréciés :

L'application d'une différence de potentiel entre les extrémités d'un conducteur, le courant électrique qui en résulte,

Digitized by Google

ont nécessité une dépense d'énergie qui se retrouve dans le conducteur sous forme d'énergie électrique. Cette énergie électrique ou travail est donc proportionnelle au produit des deux facteurs en jeu et a pour valeur $P = E \times I$ et s'exprime en *joules*.

La *puissance électrique* est le travail produit par un joule pendant une seconde et s'exprime en watts.

. . . . . .

Enfin, il est nécessaire de rappeler ici les relations existant entre les unités de travail et de puissance électrique avec les unités de travail et de puissance mécanique.

Travail. — 1 cheval vapeur = 75 kgm = 736 watts.

Puissance. — 1 cheval vapeur seconde = 75 kgm seconde = 736 watts seconde.

Ces citations montrent suffisamment que l'auteur a complètement oublié les définitions de la puissance et du travail qui lui ont été données à l'école. C'est d'autant plus regrettable que son ouvrage s'adresse à des débutants qui ne pourront corriger d'eux-mêmes les nombreuses erreurs contenues dans les lignes précédentes.

Rappelons donc, dans l'espoir que cette note tombera sous les yeux de quelques-uns d'entre eux, que :

Le produit de la différence de potentiel E par l'intensité I en courant continu est une puissance (et non un travail) et s'exprime en watts (et non en joules) lorsque les facteurs du produit sont respectivement évalués en volts et en ampères ;

La puissance électrique ne saurait être un travail puisque, par définition, c'est le quotient d'un travail par un temps ;

Les relations entre les diverses unités employées pour évaluer le travail et la puissance sont :

Travail : 1 cheval-heure = 75 × 3600 kgm = 736 watts-heure.

Puissance : 1 cheval (ou 1 cheval vapeur) = 75 kgm : sec = 736 watts,

J. B.

Sur l'orthographe d'un mot technique : cation. — Il est d'usage d'écrire « cathode » et « cathion » ; cependant plusieurs auteurs, dont M. Hollard dans son ouvrage « Les ions et l'électrolyse », écrivent « cation ». D'après la lettre ci dessous c'est bien ainsi qu'il convient d'orthographier ce mot.

Permettez-moi de vous signaler une faute d'orthographe dans le « Bulletin de la Société française des Electriciens » (n° 73, juillet-août-septembre 1918) p. 299. — Vocabulaire électrotechnique. On y lit « *cathion* (s. m). — Ion qui se porte à la cathode ». Or cation est le participe présent du verbe grec κατειμι, descendre et ἰὸν n'a pas l'esprit rude de ὁδός. On doit donc écrire cathode avec un h et cation sans h. Maxwell écrit cation, p. 255.

J.-B. Pomey.

Bibliographie : L'Ouvrier moderne. — Nous apprenons que le journal « l'Ouvrier moderne » va reprendre sa publication momentanément interrompue par la guerre. Rappelons que ce journal a surtout pour but de documenter la classe ouvrière et l'on sait que, dans cette voie, il y a fort à faire en France où, il faut bien le dire, la routine règne en maîtresse dans certains ateliers. C'est ainsi qu'une des principales erreurs de l'industrie française est d'avoir négligé de faire des « spécialistes ». Un ouvrier mécanicien, quelque intelligent et habile qu'il soit, ne peut être simultanément bon tourneur, bon fraiseur. Il doit tendre à être *excellent* dans l'une ou l'autre de ces spécialisations. Plus alors son habileté y deviendra grande, plus le rendement de son travail y gagnera en qualité et en quantité ; plus lui-même y gagnera en salaire. Afin de s'élever dans sa profession, le travailleur doit être de plus en plus instruit : par ce fait il lui est indispensable d'accroître ses connaissances techniques en se tenant au courant — minutieusement et régulièrement — des procédés modernes de travail des machines nouvellement créées ou perfectionnées, des méthodes les plus récentes et les mieux éprouvées dans l'organisation des ateliers et usines, tant en France qu'à l'étranger. Mais il ne suffit pas seulement d'acquérir des connaissances d'ordre exclusivement technique et professionnel ; il s'agit pour lui d'apprendre tout ce qui intéresse sa « profession d'homme » dans le sens le plus étendu du terme : questions corporatives et réglementation du travail : salaires, hygiène industrielle, prévoyance sociale, etc. ; santé individuelle et collective : hygiène du logement, de l'alimentation, de la famille, éducation physique, sports, récréations et délassements, etc., questions de la plus haute importance pour l'épanouissement de la vigueur intellectuelle et morale des travailleurs — quel que soit leur « grade » dans l'armée du travail.

C'est ce que vise la publication en question qui a devant elle, comme on le voit, un vaste programme d'instruction et d'éducation. Souhaitons-lui bonne chance pour le plus grand bien de nos industries et pour l'avenir de la classe ouvrière. P. N.

Bibliographie : L'Eveil de l'esprit public, par Henri Fayol (1). — Dans un précédent volume, dont une édition est déjà épuisée, M. Henri Fayol avait attiré l'attention du public sur l'importance des méthodes d'administration qu'il est nécessaire d'adopter dans l'industrie. Le présent ouvrage contient trois conférences de l'auteur relatives au même sujet et faites à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, à la Société des Ingénieurs civils et au Cercle commercial et industriel de France. Il renferme aussi un important mémoire de M. Paul Vanuxem, ingénieur des Manufactures de l'Etat, intitulé « Introduction théorique et pratique à l'étude de l'administration expérimentale », puis une conférence aux aspirants du lieutenant R. Desaubliaux et une lettre du lieutenant de Mijolla qui montrent l'application de cette méthode au front ; enfin, divers articles de MM. Georges Lachapelle, Jean Dautheuil, Maxime Leroy, etc., qui indiquent l'importance déjà prise par la nouvelle méthode.

(1) Un vol., format 24 cm × 16 cm, 289 pages, édité par H. Dunod et E. Pinat ; prix, majoration comprise, 4.80 fr.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Étude sur les maxima de surpression dans les phénomènes de coups de bélier

Transmission du coup de bélier le long de la conduite.

Dans deux précédents articles (voir « R. G. E. » des 21 septembre et 5 octobre 1918, t. IV, p. 403-411 et 483-491), M. Gariel a étudié la question des maxima de surpression dans une conduite forcée au voisinage du distributeur ou de la vanne et il a indiqué les formules à appliquer, soit dans le cas des fermetures, soit dans le cas des ouvertures. Dans ce troisième article, MM. Camichel, Eydoux et Gariel étudient la propagation du coup de bélier le long de la conduite et donnent les formules nécessaires pour calculer celle-ci en chacun de ses points. Ils ramènent à des termes fort simples la solution d'une question qui, jusqu'à présent, avait été considérée par les praticiens comme très obscure.

I. Exposé général de la question. Effet Alliévi, effet Rateau. — L'étude de la transmission du coup de bélier le long de la conduite est une de celles qui présentent peut-être le plus d'importance pratique. En fait, et bien que la solution complète de cette question se trouve dans les travaux de M. de Sparre, elle était encore récemment une des plus controversées et des moins nettement connues. Nous y avons donc apporté une attention spéciale.

Le principe fondamental des théories de Joukowski-Alliévi est, comme on le sait, le suivant : une perturbation instantanée produite au voisinage du distributeur se propage sans affaiblissement jusqu'à la chambre d'eau avec une vitesse a : elle s'y réfléchit en changeant de signe et revient au distributeur.

Ce phénomène est tout à fait analogue à celui qui se passe dans un tuyau sonore fermé à un bout et ouvert à l'autre. Pour en obtenir une image plus tangible, il suffit

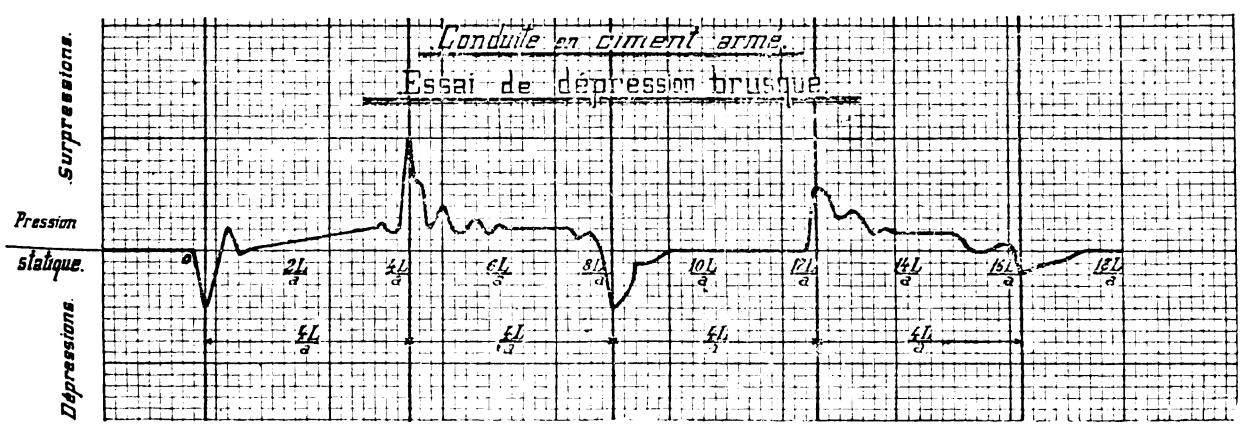


Fig. 1. — Usine d'Aix-Verdon. — Essais de coups de bélier, 9 juin 1918.

de considérer une rame de wagons lancée à une certaine vitesse et brusquement arrêtée contre un butoir. Chacun a pu constater que les wagons viennent successivement se tamponner les uns les autres en comprimant leurs ressorts d'attelage, puisqu'il se produit un effet de choc en retour, les attelages se trouvant à nouveau distendus. Ceci constitue une représentation très fidèle de ce qui se passe dans une conduite forcée lors d'une fermeture : les diverses tranches de liquide viennent successivement s'écraser en quelque manière les unes contre les autres : c'est la période de surpression à laquelle succède comme un rebondissement des tranches les unes sur les autres : c'est la période de dépression.

Le graphique de la figure 1 montre très nettement ce phénomène de réflexion avec changement de signe. Il a été relevé au voisinage du distributeur au cours d'expériences réalisées à l'usine d'Aix-Verdon par M. Carrey, ingénieur à l'Energie Electrique du Littoral Méditerra-

Digitized by Google

néen et par l'un de nous. Ces expériences nous ont permis, grâce à l'emploi de la méthode de la dépression brusque imaginée par M. Camichel, de déterminer la vitesse de propagation du coup de bélier dans une conduite en ciment armé, ce qui n'avait, à notre connaissance, pas été fait jusqu'à ce jour. Nous publierons d'ailleurs prochainement avec M. Carrey les résultats de ces essais.

D'après le principe même que nous venons d'exposer, le coup de bélier produit par une fermeture instantanée doit se propager intégralement tout le long de la conduite. Si donc ce coup de bélier est une surpression de n mètres au bas de la conduite, il sera encore une surpression de n mètres, soit au milieu de celle-ci, soit au quart supérieur, soit même au voisinage immédiat de la chambre d'eau. Dès lors, si l'on considère non plus les surpressions absolues, mais les surpressions relatives, celles-ci prennent une valeur de plus en plus considé-

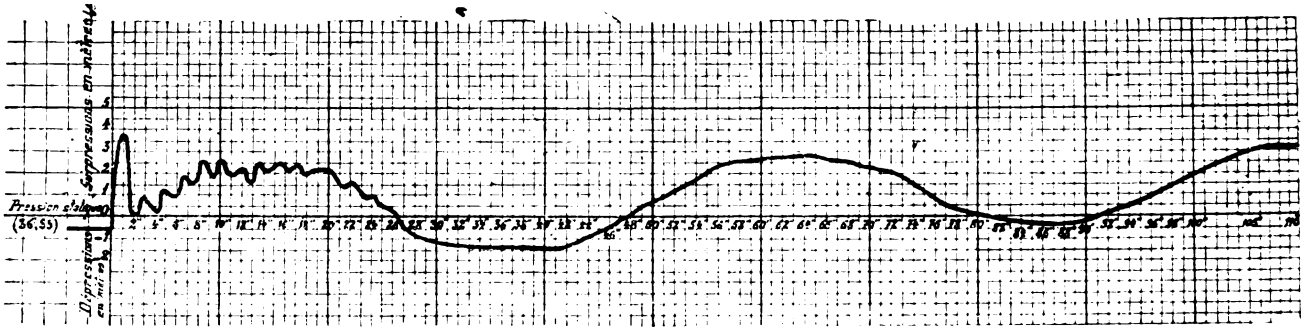


Fig. 2. — Usine de Teillet-Argenty. — Essais de coups de bélier, 27 janvier 1917. Essais n° 1, groupe 4. Fermeture à partir de 73 mm d'ouverture. Puissance 750 kw. Pression statique 36,85 m.

rable à mesure que l'on considère des parties de plus en plus hautes de la conduite. On voit immédiatement les dangers qui résultent de ce phénomène pour la sécurité des installations.

Mais les fermetures « instantanées » sont des fictions mathématiques et, dans la réalité, elles ont toujours une certaine durée. Toutefois, dans les installations de presses à obus sur longues conduites forcées, les arrêts de débit en fins de courses sont extra-rapides. Cela explique les nombreuses ruptures que l'on a constatées dans les parties hautes des conduites desservant de telles installations avant que l'on ait muni celles-ci de réservoirs d'air.

Les excellents résultats obtenus avec ces réservoirs, en particulier dans les usines de Lancey et de Servette, s'expliquent principalement par le fait que leur présence transforme la transmission intégrale du coup de bélier extra-rapide en transmission atténuée, la surpression

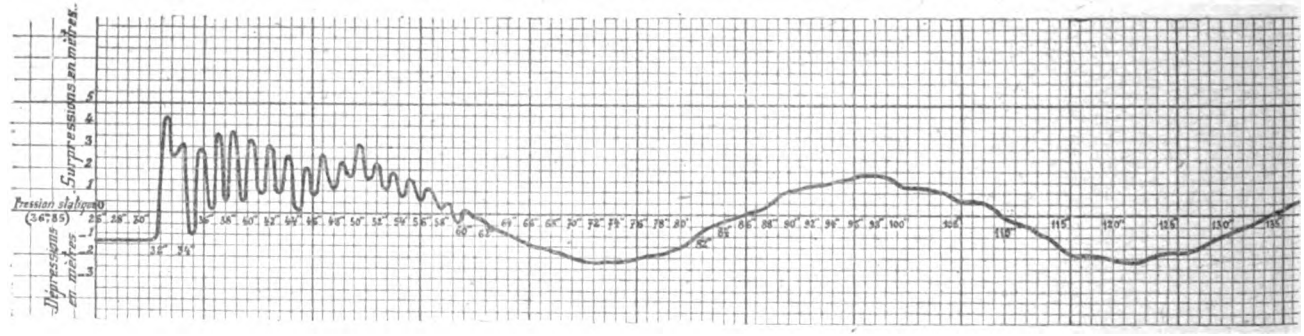


Fig. 3. — Usine de Teillet-Argenty. — Essais de coups de bélier 27 janvier 1917. Essai n° 2, groupe 4, série A. Fermeture de 106 mm en 2,25 sec. Puissance 1 400 kw. Pression statique 36,85.

décroissant alors linéairement le long de la conduite. C'est là l'hypothèse dont était parti M. Rateau dans sa belle étude sur les coups de bélier parue en 1900 (1), étude qui demeure la base de toute la théorie de ce que nous avons appelé le coup de bélier « d'oscillation en masse » (2).

L'oscillation en masse se produit presque exclusivement lorsque les conduites sont munies de réservoirs d'air ou de cheminées d'équilibre ; les phénomènes de coups de bélier consistent alors surtout en balancements d'ensemble de toute la masse liquide, la compressibilité du fluide et l'élasticité de la conduite ne jouant qu'un rôle très faible : on a ce que nous nous permettrons d'appeler « l'effet Rateau ». Au contraire, dans les conduites sans réservoir d'air ni cheminée d'équilibre, c'est le phénomène du tamponnement successif des

(1) Rateau. *Traité des turbo-machines*, Paris, 1900.

(2) Camichel, Eydoux et Gariel. Sur les coups de bélier, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 8 novembre 1915, t. clxi, p. 548-626.

Digitized by Google

tranches qui se produit exclusivement : on a « l'effet Alliévi » ou coup de bélier d'onde (1).

Bien que la distinction entre ces deux classes de phénomènes ne soit pas l'objet principal de cette étude, nous croyons intéressant de reproduire ici deux graphiques (fig. 2 et 3) relevés par M. Gariel à l'usine de Teillet-Argenty appartenant à l'Energie Electrique du Centre, sur une conduite de 2,500 m de diamètre, de 370 m de longueur munie d'une cheminée d'équilibre d'un diamètre de 2,75 m greffée sur la conduite à 60 m environ de la turbine. Cette conduite alimentait une turbine de 4 400 ch sous 37,5 m de chute.

Ces graphiques représentent la variation de la pression en fonction du temps à la suite d'une fermeture : au moment où celle-ci se produit, le graphique montre nettement des ondes à courte période qui ne sont autres que les ondes de l'effet Alliévi. Mais, très rapidement, on s'aperçoit que ces ondes sont comme portées par une vague plus longue dans laquelle elle se noient au bout d'un certain temps : c'est l'onde d'oscillation en masse.

Pour l'objet qui nous occupe aujourd'hui, retenons seulement ceci que, dans le coup de bélier d'onde, une perturbation instantanée se transmet intégralement le long de la conduite, tandis que dans l'oscillation en masse, l'amplitude d'une perturbation décroît linéairement depuis le distributeur jusqu'à la chambre d'eau.

Si, de la perturbation instantanée, nous voulons passer à une perturbation d'une certaine durée dans le cas du coup de bélier d'onde, nous aurons à faire la remarque essentielle suivante : l'état des pressions en un point de la conduite dépendra généralement, non pas seulement du coup de bélier qui monte du distributeur, mais encore de celui, changé de signe, qui redescend de la chambre d'eau. Ces deux coups de bélier étant de signes différents viendront se retrancher l'un de l'autre. On conçoit dès lors que le coup de bélier maximum en un point moyen de la conduite sera moindre que le coup de bélier maximum au distributeur.

C'est bien ce qui se passe en réalité ; mais il y a plus : dans les conditions ordinaires de la pratique et, si la durée de manœuvre du distributeur est supérieure ou égale à $\frac{2L}{a}$, on peut démontrer que le maximum du coup de bélier se répartit linéairement le long de la conduite. En sorte que, par la superposition d'un certain nombre de perturbations d'effet Alliévi, à répartition intégrale, on arrive à une répartition linéaire des maxima de surpression, comme dans l'effet Rateau.

Étant donné que les durées de fermeture des turbines sont le plus souvent supérieures à $\frac{2L}{a}$, on obtient donc, en général, la répartition linéaire et les parties supérieures des conduites se trouvent protégées tout comme lorsqu'on dispose d'un réservoir d'air dans le cas des fermetures instantanées.

Ayant ainsi exposé les lignes générales de la question, nous allons entrer dans le détail et donner les formules à appliquer.

II. Recherche des formules et règles applicables aux divers cas. — Le problème que nous nous proposons de résoudre est le suivant :

Etant donné une fermeture ou une ouverture de vannage s'effectuant suivant une loi linéaire (1) *au bas d'une conduite déterminée, et connaissant par les formules données dans les deux précédents articles le coup de bélier maximum au distributeur, comment déduire de celui-ci le coup de bélier maximum à craindre en un point quelconque de la conduite?*

Le problème ainsi posé exige une recherche assez complexe. Au premier abord, on serait tenté, pour résoudre la question, de prendre le cas de la fermeture donnant au distributeur le coup de bélier maximum et d'étudier comment se répartit celui-ci le long de la conduite. Mais cela ne suffit pas car, pour d'autres fermetures donnant au distributeur un coup de bélier inférieur au précédent, on pourrait parfaitement avoir une transmission de l'onde telle que la surpression en certains points de la conduite soit supérieure à ce qu'elle était dans le premier cas. Il faut donc étudier la répartition du coup de bélier non pas seulement pour une fermeture à partir d'une ouverture telle que la surpression soit maximum, mais, d'une façon générale, pour une fermeture à partir d'une ouverture absolument quelconque. C'est d'ailleurs là une méthode tout à fait analogue à celle que nous avons employée pour la recherche du coup bélier maximum au distributeur.

Pour faire cette étude, nous distinguerons deux cas suivant que le temps T de fermeture totale du distributeur est supérieur ou inférieur à $\frac{2L}{a}$.

1° La durée totale de fermeture est supérieure ou égale a $\frac{2L}{a}$. — Considérons (fig. 4) un point M de la conduite situé à une distance x du distributeur et prenons comme origine des temps le moment où commence la fermeture du distributeur. Enfin, supposons que, parmi toutes les ouvertures possibles du distributeur, on choisisse celle qui est telle que la durée de fermeture soit $\frac{2L}{a}$. Nous avons vu, dans notre premier article, qu'on obtenait, dans ce cas, le coup de bélier maximum au distributeur.

Pour arriver jusqu'au point M, la perturbation met

(1) La coexistence de l'effet Alliévi et de l'effet Rateau a, pour la première fois, été mise en évidence par M. Camichel, qui a également montré la répartition linéaire des surpressions produites par des oscillations en masse.

Les premières expériences exécutées à ce sujet sur une conduite industrielle ont été faites par M. Eydoux à l'usine de la Mine de Plomb de Pierrefitte : leurs résultats seront publiés prochainement dans la thèse de M. Eydoux sur les conduites avec cheminées d'équilibre.

(1) Rappelons que nous appelons « loi linéaire » celle qui assurerait, pendant la fermeture ou l'ouverture, une variation linéaire du débit en fonction du temps si la pression demeurait constante.

Digitized by Google

un temps $\frac{x}{a}$. Donc, depuis le temps o jusqu'au temps $\frac{x}{a}$, aucune perturbation ne se fait encore sentir en M. Au

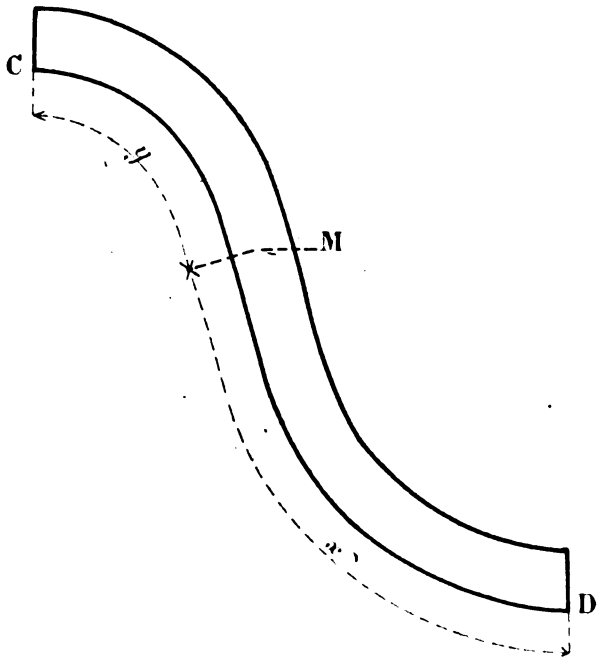


Fig. 4. — Schéma d'une conduite.

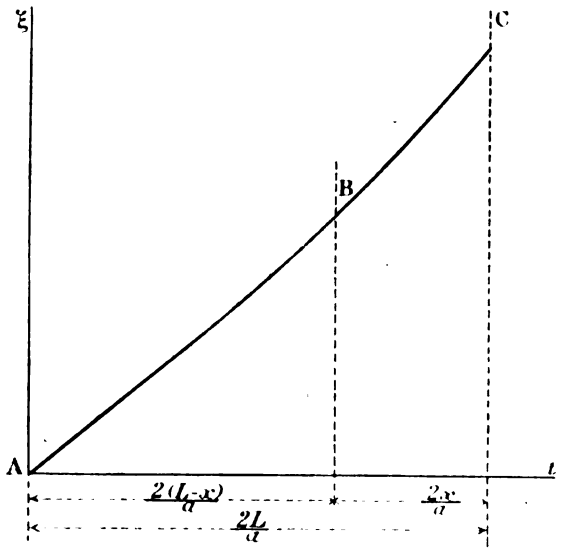
temps $\frac{x}{a}$, le début de l'onde qui monte du distributeur arrive en M sans aucune atténuation. L'onde franchit ce point, monte à la chambre d'eau, s'y réfléchit, et le front de l'onde ne revient au point M qu'au bout du temps nécessaire pour parcourir le trajet MC aller et retour.

Donc, depuis le temps

$$\frac{x}{a} \text{ jusqu'au temps } \frac{x}{a} + \frac{2(L-x)}{a} = \frac{2L-x}{a}$$

le diagramme de surpression relevé au point M doit être identique à celui relevé au distributeur. Soit (fig. 5) AC la portion de ce dernier diagramme limité à la première période $\frac{2L}{a}$ du phénomène, diagramme dans lequel, comme précédemment, les surpressions sont portées en ordonnées et le temps en abcisses. Le diagramme au point M sera constitué (fig. 6) d'une ligne de surpression A'B' commençant au point d'abcisse $\frac{x}{a}$ et reproduisant exactement jusqu'au point d'abcisse $\frac{2L-x}{a}$ la portion correspondante AB de la courbe relevée au distributeur.

A l'instant $\frac{2L-x}{a}$ la perturbation initiale au distributeur revient au point M changée de signe après réflexion à la chambre d'eau. Elle rencontre la perturbation qui continue de monter du distributeur et se retranche de celle-ci. Il résulte de là un brusque changement dans l'allure du phénomène au point M ; la montée de la surpression est presque complètement arrêtée et l'on



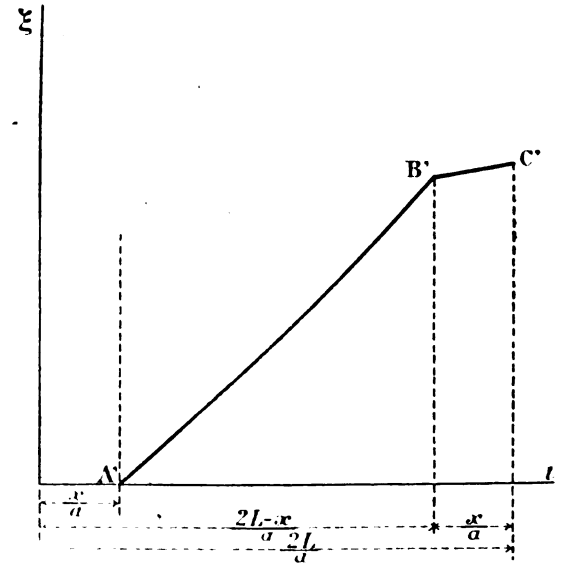


Fig. 5 et 6. — Schéma de transmission de coups de bélier.

obtient ainsi la portion B'C' dont les ordonnées sont les différences des ordonnées des points correspondants de BC et de AB situés à une distance $\frac{2L-x}{a}$ les uns des autres. Nous voyons donc immédiatement que le coup de bélier maximum paraît devoir être beaucoup moins fort au point M qu'au distributeur, pour une fermeture en $\frac{2L}{a}$.

Afin de comparer plus exactement les phénomènes, reprenons l'expression du coup de bélier au distributeur.

Digitized by Google

On a pour une fermeture en un temps inférieur à $\frac{2L}{a}$

$$\xi = \frac{a}{g}\frac{V_0 - V_1}{1 + \frac{aV_1}{2gy_0}},$$

V_0 étant la vitesse initiale de l'eau dans la conduite,
V_1 étant la vitesse de l'eau dans la conduite pour l'ouverture réalisée à l'instant considéré et abstraction faite du coup de bélier.

Cette formule montre que le coup de bélier est représenté par une courbe concave dont la concavité est tournée vers le haut.

Pour la fermeture complète, V_1 est nul et l'on a

$$\xi = \frac{aV_0}{g}.$$

Dans la pratique, le coup de bélier ξ est toujours notablement inférieur à 50 pour 100 de la pression statique. Nous aurons donc toujours

$$\frac{aV_0}{g} < \frac{y_0}{2},$$

d'où

$$\frac{aV_0}{2gy_0} < \frac{1}{4},$$

et comme V_1 est toujours $< V_0$, nous aurons à fortiori constamment

$$\frac{aV_1}{2gy_0} < \frac{1}{4}.$$

Pratiquement même le maximum admis pour $\frac{aV_0}{g}$

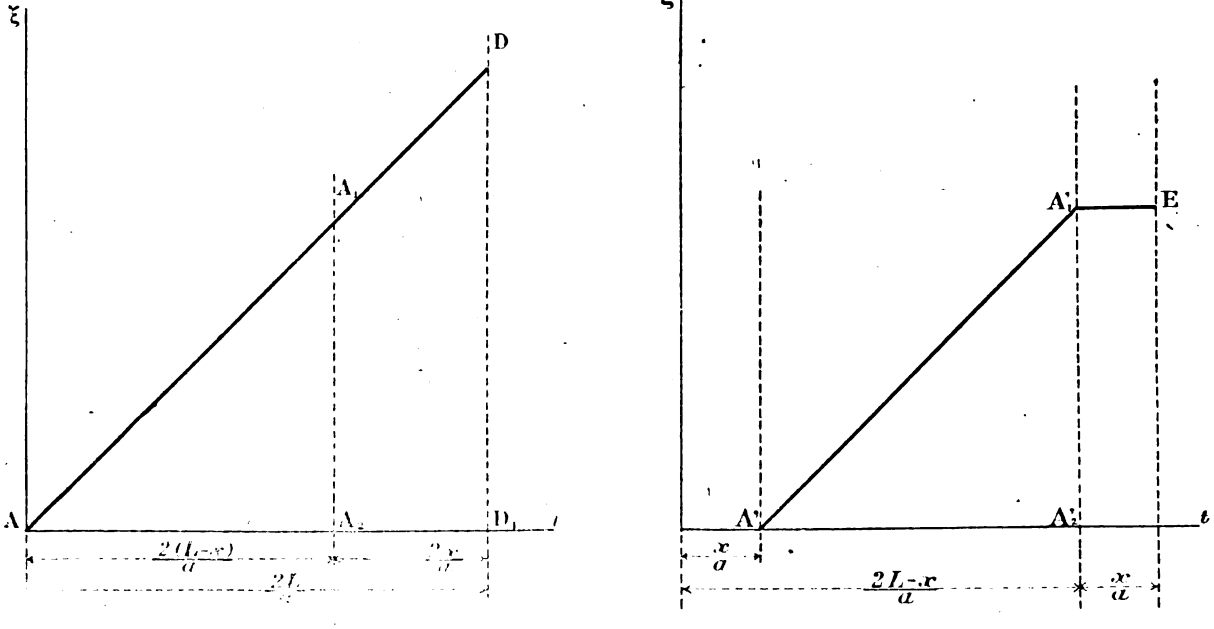


Fig. 7 et 8. — Répartition linéaire des maxima de surpressions.

sera de l'ordre de 25 pour 100 et, par conséquent, $\frac{aV_0}{2gy_0}$ sera de l'orde de 1/8. Le dénominateur de la fraction représentant ξ sera donc très voisin de 1 et, par conséquent, la courbe représentant ξ se confondra sensiblement avec une droite (fig. 7 et 8) pour toutes les fermetures s'effectuant en un temps égal ou inférieur à $\frac{2L}{a}$.

Il en résulte immédiatement (fig. 7 et 8) que la portion A'_1 E de la courbe représentant le coup de bélier au point M est une droite horizontale. Par conséquent, le maximum du coup de bélier au point M est égalà $A'_2 A'_1$ et l'on a évidemment dans les triangles semblables $A A_1 A_2$ et $A D D_1$.

$$A_2A_1 = \frac{L - x}{L} D D_1 = A'_2A'_1,$$

Ainsi, dans la pratique, si l'on réalise la fermeture donnant le maximum du coup de bélier qui puisse se produire au distributeur dans une installation où la durée totale de fermeture du régulateur supposée linéaire est supérieure à $\frac{2L}{a}$, *ce maximum se transmet en décroissant linéairement tout le long de la conduite.*

Mais, comme nous l'avons dit plus haut, on ne peut pas conclure immédiatement que ce soit là le coup de bélier maximum qui puisse jamais se produire en un point quelconque de la conduite pour une ouverture supérieure à celle correspondant à la fermeture en $\frac{2L}{a}$.

M. de Sparre a cependant démontré, dans le « Bulletin spécial n° 1 du Comité technique de la Société hydrotechnique de France » (1915), que la répartition linéaire

Digitized by Google

des maxima se produit sensiblement dans tous les cas de fermetures en un temps supérieur à $\frac{2L}{a}$. Sa démonstration suppose, comme il le fait expressément remarquer, que la loi de variation du coup de bélier pendant une période soit sensiblement linéaire, mais cette condition est presque toujours réalisée en pratique.

Ainsi donc, si nous considérons toutes les fermetures s'exécutant en un temps supérieur à $\frac{2L}{a}$, nous pouvons conclure d'une façon générale à la règle suivante :

Lorsque la durée totale de fermeture d'un distributeur (fermeture supposée linéaire) est supérieure à $\frac{2L}{a}$, la surpression maximum à craindre en un point situé à une distance x du distributeur est donnée par

$$S_m \times \frac{L-x}{L},$$

S_m étant la surpression maximum au distributeur, qui est elle-même donnée dans ce cas par la formule de Michaud $\frac{2LV}{9T}$.

Nous allons voir que cette règle donne encore une sécurité complète pour le cas où l'on considère les fermetures partielles qui se produisent en un temps inférieur à $\frac{2L}{a}$.

Soient Q_0 et V_0 le débit et la vitesse dans la conduite correspondant à une ouverture telle que la fermeture se fasse en un temps $\frac{2L}{a}$.

Supposons qu'on réalise une ouverture moitié de celle-ci; le débit et la vitesse initiale seront $\frac{Q_0}{2}$ et $\frac{V_0}{2}$ et, par conséquent, la surpression correspondant à la fermeture complète du débit $\frac{Q_0}{2}$ sera avec $\frac{aV_0}{2g} = \frac{S'_m}{2}$, S_m étant le coup de bélier maximum correspondant au débit Q_0.

Cette surpression $\frac{S_m}{2}$ se transmettra intégralement jusqu'au milieu de la conduite.

Or, d'après la règle précédente, ce point est précisément calculé pour la surpression $\frac{S_m}{2}$. A partir de là et vers le haut, le coup de bélier décroît linéairement jusqu'à la chambre d'eau. Dans la partie haute, on est donc parfaitement d'accord avec la règle ci-dessus et, dans la partie basse, cette même règle conduit à établir en chaque point la conduite pour une surpression supérieure à $\frac{S_m}{2}$. Par conséquent, la règle ci-dessus donne une complète sécurité dans le cas d'une fermeture en un temps $\frac{L}{a}$.

Prenons le cas général d'une fermeture partielle en un temps égal à $\frac{1}{n} \times \frac{2L}{a} = T$. La surpression correspondante au distributeur est $\frac{aV_0}{ng} = \frac{S_m}{n}$.

Elle se transmet intégralement jusqu'au point distant de la chambre d'eau d'une longueur y telle que

$$y = \frac{L}{n}.$$

En ce point, la conduite, d'après la règle ci-dessus, est établie pour une surpression

$$\frac{\frac{L}{n}}{L} \times S_m = \frac{S_m}{n}.$$

Pour les points situés au-dessus de ce point M, les coups de bélier décroissent linéairement jusqu'à la chambre d'eau. Dans la portion haute, on est donc parfaitement d'accord avec la règle ci-dessus et, dans la portion basse, cette même règle conduit à établir en chaque point la conduite pour une surpression supérieure à $\frac{S}{n}$. Par conséquent, la règle ci-dessus donne une complète sécurité dans le cas d'une fermeture quelconque inférieure à $\frac{2L}{a}$. Dès lors, elle est donc absolument générale et nous pouvons conclure :

Dans le cas, presque toujours réalisé dans la pratique, où la durée de fermeture totale du distributeur est supérieure à $\frac{2L}{a}$, on est en complète sécurité en calculant la conduite de la façon suivante :

Soit S_m la surpression maximum admise au collecteur ; la conduite en chaque point devra être établie pour une surpression

$$S_m \times \frac{L-x}{L},$$

x étant la distance du point considéré au distributeur et L la longueur de la conduite

2° La durée totale de fermeture du distributeur est inférieure à $\frac{2L}{a}$. — Dans ce cas, on aurait la tentation, si l'on considérait seulement ce qui se passe au distributeur, de réduire de plus en plus la durée de fermeture puisque, quelle que soit celle-ci, le coup de bélier au distributeur demeure constant et égal à $\frac{aV_0}{g}$. Il faut se garder d'une telle tendance car, plus on diminue la durée de fermeture, plus on augmente la surpression relative dans les parties hautes de la conduite. Supposons, par exemple, qu'au lieu de fermer un débit Q_0 en $T = \frac{2L}{a}$, on ferme le même débit en $T = \frac{L}{a}$. La surpres-

Digitized by Google

sion au distributeur est dans les deux cas $S_m = \frac{aV_0}{g}$; mais, dans le premier cas, à mi-longueur de la conduite, la surpression est $\frac{S_m}{2}$, tandis que, dans le second cas, elle est $2S_m$. Si la conduite est rectiligne, on voit donc que la surpression relative dans la partie moyenne de la conduite est double de la surpression relative au distributeur.

D'une façon générale, si, au lieu de fermer tout le débit en $T = \frac{2L}{a}$, on le ferme en $T = \frac{1}{n}\frac{2L}{a}$, la surpression au distributeur se transmet intégralement jusqu'au point distant de la chambre d'eau d'une longueur y telle que

$$\frac{2y}{a} = \frac{1}{n}\frac{2L}{a}; \quad \text{d'où} \quad y = \frac{L}{n}.$$

En ce point, et pour tous les points situés plus bas, la surpression est donc supérieure à ce qu'elle était dans le cas où la fermeture se faisait en $T = \frac{2L}{a}$. Dans ce dernier cas, en effet, la surpression au point n était

$$S_m \times \frac{y}{L} = \frac{S_m}{n}.$$

Pour la fermeture en $T = \frac{1}{n}\frac{2L}{a}$, cette surpression au même point M est S_m. La surpression au point M est donc multipliée par n.

Par conséquent, dans le cas où l'on est contraint d'admettre une fermeture totale du distributeur s'effectuant en un temps égal à $\frac{1}{n}\frac{2L}{a}$, *la conduite doit être calculée de la façon suivante :*

Soit S_m *la surpression maximum au distributeur égale à* $\frac{aV_0}{g}$.

a) *Pour tout le tronçon inférieur compris entre le distributeur et un point* M *distant de la chambre d'eau d'une longueur y telle que* $y = \frac{L}{n}$, *on devra établir la conduite pour résister en chaque point à la surpression absolue totale* S_m.

b) *Pour le tronçon supérieur compris entre le point* M *défini ci-dessus et la chambre d'eau, on devra établir la conduite pour résister en chaque point à une surpression égale à* $S_m \times \frac{y'}{y}$, y' *étant la distance du point considéré à la chambre d'eau.*

Telles sont les règles assez simples que l'on peut déduire des théories de Joukowski, Alliévi et de Sparre concernant la répartition du coup de bélier dans les conduites d'épaisseur et de diamètre constants.

D'après les expériences de Soulom, les mêmes règles peuvent s'appliquer aux conduites d'épaisseur variable à condition que les durées totales de fermeture des régulateurs soient supérieures ou peu inférieures à $\frac{2L}{a}$, *ainsi que cela est presque toujours réalisé dans la pratique.* Par contre, pour les durées de fermeture extra-rapides dans des conduites d'épaisseur variable, la répartition ne se fait pas exactement suivant les règles simples indiquées ci-dessus. Etant donné qu'il se produit à chaque variation d'épaisseur une réflexion particlle de l'onde, le coup de bélier est notablement plus atténué dans les parties hautes que ne l'indiquent les lois précédentes. Les formules de M. de Sparre relatives à la division de la conduite en deux tronçons fictifs d'épaisseur constante permettent d'étudier, avec une très grande approximation, la répartition du coup de bélier dans un cas déterminé de fermeture extra-rapide. Mais il n'est pas possible, du moins pour le moment, de ramener ces calculs à quelques formules simples.

Donc, dans les cas exceptionnels de fermetures extra rapides dans des conduites d'épaisseur variable, on peut employer deux méthodes : soit calculer le coup de bélier au distributeur avec les majorations indiquées dans notre premier article et admettre que ce coup de bélier se répartit le long de la conduite suivant les règles indiquées ci-dessus ; on est sûr, en procédant ainsi, d'avoir une complète sécurité, mais on n'aura pas l'économie maximum de métal, ou bien tracer pour un certain nombre de points de la conduite le diagramme des surpressions à l'aide des calculs de M. de Sparre concernant la division de la conduite en deux tronçons ; on obtiendra ainsi, mais au prix d'un travail assez important, des résultats se rapprochant beaucoup de la réalité et permettant par suite de répartir le métal aussi rationnellement que possible.

Avant de passer aux vérifications expérimentales des règles données ci-dessus, nous devons faire une remarque très importante : nous avons vu que le fait d'avoir des fermetures très rapides conduisait à surcharger considérablement les parties hautes de la conduite. Pour les fermetures lentes, en un temps supérieur à $\frac{2L}{a}$, on obtient un effet complètement analogue bien que la répartition soit alors linéaire, si la conduite que l'on étudie présente une longue partie à faible pente au sortir de la chambre d'eau.

Afin d'avoir un phénomène bien caractéristique, considérons une conduite présentant au sortir de la chambre d'eau une partie horizontale égale à la moitié de la longueur totale de la conduite. Supposons une fermeture en un temps supérieur à $\frac{2L}{a}$. La répartition étant linéaire, la surpression maximum au point M jonction de la section horizontale et de la section inclinée sera encore égale à la moitié de la surpression absolue au distributeur. La pression normale en M étant très faible, on voit que la surpression relative en ce point sera énorme. Supposons, par exemple, une chute de 400 m équipée avec une conduite présentant une partie

Digitized by Google

horizontale de 500 m de longueur et une partie inclinée de 500 m également. Admettons que la surpression maximum au bas de la conduite soit de 25 pour 100, soit

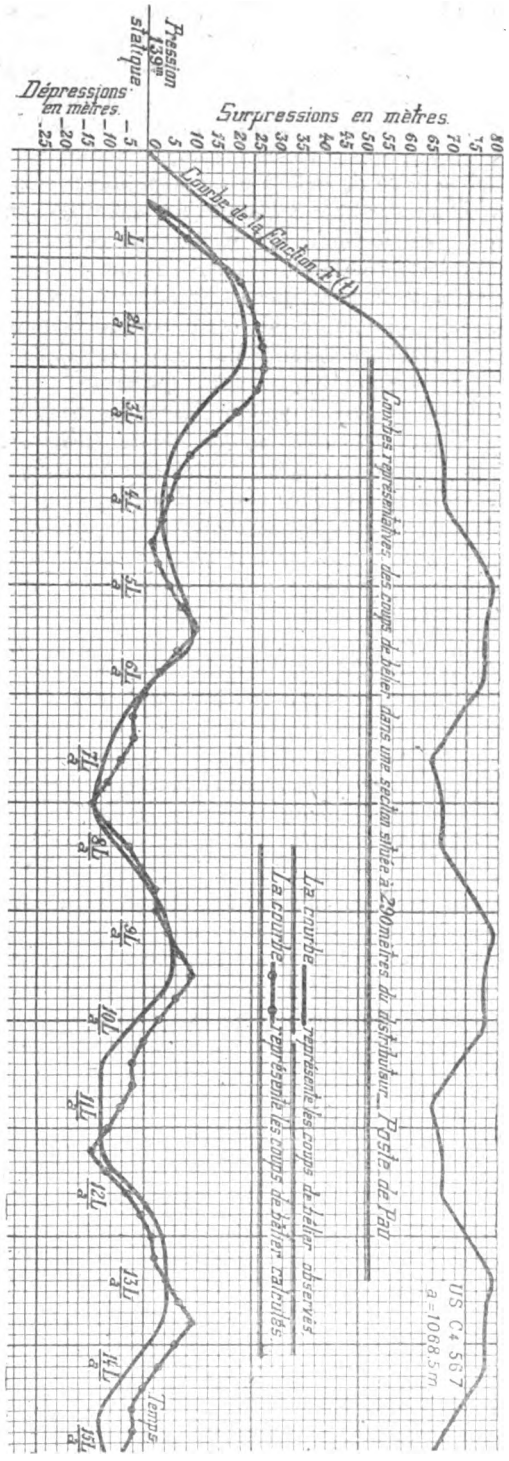


Fig. 9. — Usine de Soulom. — Essai de coups de bélier (juillet 1916).

100 m ; la surpression en M sera de 50 m alors que la pression normale y sera de quelques mètres seulement.

Il y a là un point fort important et sur lequel nous nous permettons d'attirer l'attention de ceux qui s'occupent du tracé des conduites.

III. — **Vérifications expérimentales et conclusions.** — M. Camichel a fait à Toulouse un certain nombre d'expériences mettant en évidence la transmission intégrale du coup de bélier dans le cas des fermetures extra-rapides et d'une conduite d'épaisseur et de diamètre constants. Elles ont pleinement confirmé les hypothèses que nous avons exposées.

D'autre part, les expériences de Soulom nous ont permis d'étudier assez complètement la répartition linéaire du maximum du coup de bélier dans le cas d'une conduite d'épaisseur variable et pour des durées de fermeture supérieures à $\frac{2L}{a}$.

La figure 9 ci-contre est la reproduction d'un diagramme relevé à 290 m du distributeur à l'instant même où l'on relevait au bas de la conduite le diagramme US — C_4 — 56-7 que nous avons reproduit dans nôtre premier article. Sur ce diagramme sont figurées les courbes observées et calculées : la concordance entre celles-ci est fort satisfaisante quoique moins parfaite que pour les graphiques relevés au distributeur. Ces imperfections sont dues, comme nous l'avons reconnu, d'une part, à un léger retard du manomètre employé, d'autre part, aux difficultés spéciales rencontrées pour relever le diagramme considéré dans le poste correspondant qui se trouvait en pleine montagne. La figure 10 donne des courbes analogues relevées à Soulom à 59 m du distributeur.

En étudiant les maxima présentés par les graphiques US — C_4 — 56-7 et par un certain nombre de graphiques relatifs à d'autres expériences, nous sommes arrivés aux chiffres du tableau ci-dessous :

Tableau I.

NUMÉRO DE L'ESSAI	SURPRESSION relative en un point intermédiaire de la conduite (observé).	SURPRESSION relative calculée en admettant la répartition linéaire.
US — C_4 — 56 — 4	10,10 %	11,85 %
US — C_4 — 56 — 7	9,15	10,25
US — C_4 — 56 — 8	8,75	9,25
US — C_4 — 55 — 2	8,75	8,65
US — C_4 — 55 — 3	14,50	16,70
US — C_4 — 55 — 4	20,60	21,90

Si l'on tient compte des causes d'erreurs signalées ci-dessus, on peut considérer la vérification de la répartition linéaire comme très satisfaisante.

Du développement des théories comme de l'examen des résultats expérimentaux de Toulouse et de Soulom, nous pouvons donc déduire les conclusions suivantes applicables dans le cas des manœuvres linéaires :

1° *Transmission intégrale du coup de bélier tout le long de la conduite pour les fermetures extra-rapides ;*

Digitized by Google

répartition linéaire des maxima pour les durées de fermeture supérieures à $\frac{2L}{a}$, *transmission mi-linéaire, mi-intégrale pour les fermetures non instantanées s'effectuant en un temps inférieur à* $\frac{2L}{a}$, *tels sont les trois modes de répartition du coup de bélier pour des conduites d'épaisseur et de diamètre constants sans réservoir d'air ni cheminée d'équilibre.*

2° *Pour des conduites d'épaisseur variable, on est en complète sécurité en comptant sur les répartitions ci-dessus, mais, dans les cas de fermetures extra-rapides, on peut économiser du métal en faisant le calcul complet donné par M. de Sparre pour les conduites supposées divisées en deux tronçons.*

3° *Dans l'immense majorité des installations de turbines, la répartition est linéaire. Si, par suite, on appelle* S_m *le coup de bélier maximum au distributeur,* L *la longueur de la conduite,* x *la distance du distributeur au point considéré, la surpression en ce point sera égale à*

$$S_m \times \frac{L - x}{L}.$$

Enfin, disons en terminant que toutes les conclusions ci-dessus s'appliquent sans modifications importantes au cas des ouvertures de vannage : il suffit de substituer le mot « dépression » au mot « surpression ».

Conclusions générales. — Dans les deux précédents articles (voir *R. G. E.* du 21 septembre et du 5 octobre 1918), nous avons exposé la question des maxima de surpression au voisinage du distributeur, soit dans le cas des fermetures, soit dans le cas des ouvertures; dans ce troisième article, nous avons montré comment les maxima de surpression se transmettent le long de la conduite.

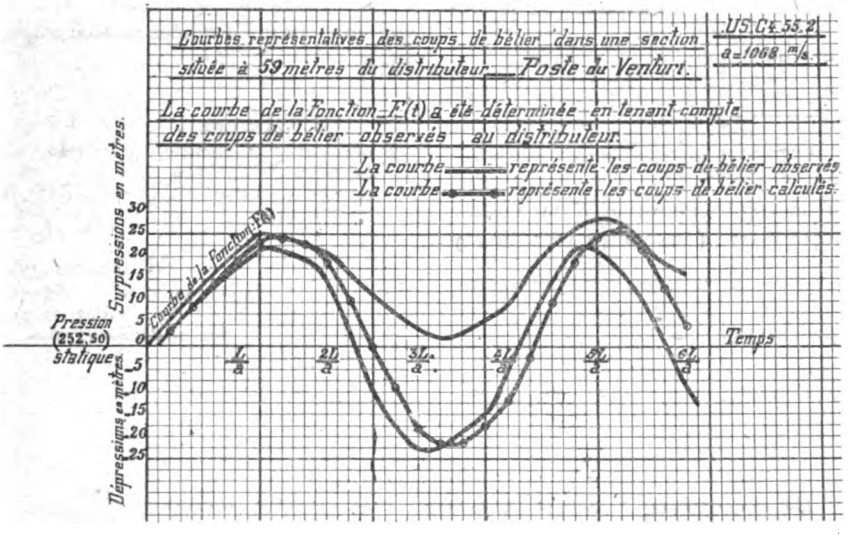


Fig. 10. — Essais de Soulom US.C4-55-2, coups de bélier à 59 m du distributeur.

Les indications fournies permettent donc de calculer une conduite forcée de diamètre constant et d'épaisseur constante ou variable dans tous les cas de fermetures ou d'ouvertures linéaires qui peuvent se présenter.

Nous avons laissé de côté et réservé pour des études ultérieures, soit les phénomènes de résonance, question qui doit être traitée en liaison étroite avec une étude générale des régulateurs, soit la recherche des lois de fermeture non linéaires donnant le coup de bélier minimum pour un temps de fermeture totale donné.

L'étude de cette dernière question est fort intéressante : en effet, l'emploi de lois de fermetures appropriées permet de réduire assez notablement, surtout pour les basses chutes, le coup de bélier de Michaud que nous avons indiqué comme étant le maximum à craindre dans le cas des fermetures linéaires. M. de Sparre, le premier, a montré dans la « R. G. E. » du 9 mars 1918 comment on peut déterminer de telles lois de fermeture. Il est assez aisé d'ailleurs de tracer celles-ci par points, mais il paraît difficile pour le moment d'exprimer sous une forme simple et générale la réduction qu'il est possible de faire subir au coup de bélier de Michaud en adoptant les lois de fermeture de M. de Sparre.

Nous pensons donc que, à l'heure actuelle, le plus simple et le plus sûr pour les ingénieurs qui étudient des projets de chute d'eau est de s'en tenir aux règles suivantes qui constituent nos conclusions générales et sont valables dans l'immense majorité des cas.

Etant donnée une conduite de tôle de longueur L, de diamètre constant d, d'épaisseur moyenne e, calculer la vitesse de propagation a du coup de bélier par la formule

$$a = \frac{9\,900}{\sqrt{48{,}3 + 0{,}5\,\frac{d}{e}}}.$$

Digitized by Google

Déterminer la valeur $\frac{2L}{a}$ de la demi-période de l'onde et admettre un temps T de fermeture ou d'ouverture totale du vannage supérieur à $\frac{2L}{a}$ en supposant que la fermeture s'effectue suivant la loi linéaire, c'est-à-dire d'une façon telle que le débit varie proportionnellement au temps pendant la manœuvre (et abstraction faite du coup de bélier).

Calculer le coup de bélier de fermeture au distributeur par la formule de Michaud

$$S_m = \frac{2LV_t}{gT},$$

V_t étant la vitesse de l'eau dans la conduite pour l'ouverture totale des turbines.

Calculer le coup de bélier d'ouverture au distributeur par la formule de Michaud $\frac{2LV_t}{gT}$ multipliée par le facteur correctif plus petit que 1

$$\frac{1}{1+\frac{aV}{2gy_0}},$$

y_0 étant la valeur de la chute statique, V la vitesse atteinte dans la conduite pour l'ouverture réalisée au bout du temps $\frac{2L}{a}$ à partir de la fermeture complète, g l'accélération de la pesanteur.

Calculer la surpression maximum consécutive, au distributeur, à une dépression d'ouverture par le tableau suivant

Dépression..	10% ;	14% ;	30 % ;	44,6% ;	57 % ;	70 % ;	90%.
Surpression.	9% ;	12% ;	20,8% ;	22,8% ;	19,3% ;	7,6% ;	6%.

Ayant ainsi déterminé dans tous les cas la surpression maximum S_m au distributeur, calculer la surpression S'_m en un point de la conduite situé à une distance x du distributeur par la formule

$$S'_m = S_m \frac{L-x}{L}.$$

Dans les cas exceptionnels où l'on serait contraint d'adopter des durées de manœuvres inférieures à $\frac{2L}{a}$, il y aurait lieu de se reporter aux indications spéciales que nous avons données sur ce sujet au cours de notre étude.

C. CAMICHEL,
Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse, Directeur de l'Institut Electrotechnique.

D. EYDOUX,
Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur principal de la voie de la Compagnie des Chemins de fer du Midi.

M. GARIEL,
Ingénieur E. S. E., Directeur général des ateliers Neyret-Beylier et Piccard-Pictet.

Revues, analyses et informations

Equations caractéristiques des lampes à filament de tungstène et leur application à la photométrie hétérochrome (1).

I. — INTRODUCTION. — Le présent travail a été entrepris au Bureau of Standards dans le but de rechercher une méthode qui permette de surmonter les difficultés de la photométrie hétérochrome, difficultés qui se présentent principalement quand on compare des lampes, fonctionnant au-dessus et au-dessous de leur tension normale, avec les étalons primaires à filament de carbone, réglés à la consommation spécifique de 4 w par bougie moyenne horizontale. Ces derniers sont rarement mis en service, car ils constituent les prototypes capables de reproduire, à tout moment, la bougie internationale; en pratique, on leur substitue des étalons secondaires et des étalons courants; ceux-ci servent aux travaux journaliers du laboratoire.

Au point de vue de la coloration, les étalons primaires se placent entre les deux autres types : ils paraissent bleus par rapport à la lampe Hefner et rouges par rapport aux lampes à filament de tungstène fonctionnant à leur rendement normal ou à peu près. Néanmoins la différence des couleurs est encore trop grande pour des comparaisons photométriques de haute précision.

En général on soumet au Bureau of Standards, aux fins de vérification, deux espèces de lampes : des lampes à flammes, qui sont le plus souvent des lampes au pentane, et des lampes à incandescence électriques, dont un tiers à filament de carbone et deux tiers à filament de tungstène.

II. — MÉTHODES DE PHOTOMÉTRIE HÉTÉROCHROME. — La comparaison de lampes de même couleur ne comporte aucune difficulté, même pour des opérateurs inexpérimentés; au contraire, avec des lampes diversement colorées, il y a rarement concordance entre les mesures de plusieurs observateurs, à cause de la différence de leur vision colorée et à cause de la différence dans leur évaluation de l'égalité d'éclairement.

Les méthodes principalement employées pour la photométrie hétérochrome se réduisent à quatre : méthodes de l'acuité visuelle, de la fréquence critique, de l'égalité d'éclairement et du papillottement. Les deux dernières

(1) G.-W. MIDDLEKAUFF et J.-F. SKOGLAND. *Scientific Papers of the Bureau of Standards*, 10 octobre 1914, n° 238, p. 483-534, 1 fig.

Digitized by Google

sont seules accréditées au Bureau of Standards; on a même reconnu que le photomètre à constrate, de Lummer-Brodhum, qui fait aussi usage du principe de l'égalité d'éclairement, était supérieur au photomètre à papillottement, que les lampes à comparer soient de même couleur ou de couleurs différentes.

III. — Photométrie des lampes hétérochromes par élimination des différences de couleur. — 1. *Emploi d'étalons secondaires.* — Il est certain que le meilleur moyen de supprimer les différences de couleur consiste à opposer à la lampe à comparer un étalon de même nature; un étalon secondaire à incandescence électrique sera, par conséquent, tout indiqué pour la photométrie des lampes semblables. A ce point de vue, heureusement, la lampe à filament de tungstène peut prendre une gamme de couleurs si étendue qu'on réussira toujours à l'amener à égalité de coloration avec n'importe quelle lampe, quelle que soit la nature de son filament et quel que soit son rendement. Bien plus, elle est même capable de reproduire la coloration de tous les étalons à flamme; c'est donc l'étalon courant idéal pour la photométrie hétérochrome; mais l'obligation de fonctionner à des régimes si variables est une cause de détérioration rapide.

2. *Emploi d'écrans colorés.* — L'emploi d'écrans rouges ou bleus est encore un moyen facile de réaliser l'égalité des couleurs, pourvu que ces écrans aient une absorption spectrale appropriée. Les filtres rouges sont d'une exécution difficile; en pratique, donc, on n'a fabriqué que des filtres bleus.

On les calibre, c'est-à-dire on détermine leur coefficient de transmission T de la manière suivante, qui présuppose que l'écran sera associé à une lampe caractérisée par la même couleur qu'une lampe au carbone de 4 w : b. Le photomètre est disposé comme pour la comparaison ordinaire de deux lampes A et B dont A a été préalablement amenée à égalité de couleur avec la lampe au carbone ci-dessus. Une première mesure donne $\frac{J_A}{d^2} = \frac{J_B}{d'^2}$; on interpose l'écran sur le trajet de la lumière émanée de A; soit J_{Ac} l'intensité du courant émergent; on fait une 2e mesure sans toucher à B; on a

$$\frac{J_{Ac}}{D^2} = \frac{J_B}{d'^2}.$$

Par définition, le coefficient de transmission est le rapport du faisceau J_{Ac} au faisceau incident J_A; on a donc :

$$T = \frac{J_{Ac}}{J_A} = \frac{d^2}{D^2},$$

c'est-à-dire une valeur de T indépendante des intensités respectives de A et B.

On peut varier l'expérience en amenant B à égalité de coloration avec A, mais sans l'interposition du filtre ou à une coloration quelconque intermédiaire entre celle de A et celle de A armé de son écran.

Dans chaque cas, cependant, au moins une des mesures doit se faire entre lampes n'ayant pas la même couleur; on retombe donc sur les difficultés et les incertitudes de la photométrie hétérochrome. L'étalonnage exact de l'écran exige aussi que la lampe A soit de même couleur que la lampe avec laquelle on emploiera l'écran, autrement le coefficient de transparence prendrait une autre valeur qui dépendrait de la lumière incidente.

La méthode d'étalonnage préconisée par MM. Middlekauff et Skogland est la suivante. A et B sont des lampes à filament de tungstène. On règle la tension de A de manière que sa consommation spécifique soit de 3,1 w : b; dans ces conditions sa couleur est la même que celle de la lampe au carbone de consommation spécifique 4 w : b; puis on appareille la couleur de B à celle de la lumière transmise par l'écran. Laissant B toujours constant, on exécute une première mesure photométrique avec l'écran interposé sur le trajet de la lumière issue de A; on a

$$\frac{J_{Ao}}{d^2} = \frac{J_B}{d'^2}.$$

On augmente ensuite la tension aux bornes de A jusqu'à ce qu'il y ait égalité de couleur entre A et B et on fait une deuxième mesure (B étant toujours dans les mêmes conditions que pour la première mesure); on a

$$\frac{J'_A}{D^2} = \frac{J_B}{d'^2}.$$

On tire de là

$$J_{Ao} = \frac{d^2}{D^2} \cdot J'_A.$$

Divisant les deux membres par J_A, intensité initiale de A, on a, pour le coefficient de transmission

$$\frac{J_{Ao}}{J_A} = \frac{d^2}{D^2} \times \frac{J'_A}{J_A}.$$

Cette méthode suppose implicitement que le rapport $\frac{J'_A}{J_A}$ a été déterminé avec précision, ce qui est facile si l'on a relevé avec soin les tensions aux bornes de A et si l'on connaît la caractéristique tension-intensité lumineuse de cette lampe avec une approximation suffisante. Elle reporte donc les difficultés inhérentes à la photométrie hétérochrome, non pas au calibrage des filtres colorés, mais à l'évaluation exacte des variations de l'intensité lumineuse avec la tension; comme cette variation doit suivre une loi régulière, il y avait intérêt à trouver une équation qui la représente dans de larges limites. Ce résultat a été atteint par les auteurs, ainsi que nous allons le démontrer.

IV — Forme de l'équation adoptée par les auteurs. — Nous représenterons par J l'intensité lumineuse; par V, la tension aux bornes; par W, les watts consommés et par w, la consommation spécifique exprimée en watts par bougie. Après avoir réalisé un grand nombre de mesures sur des lampes à incandescence à filament de tungstène et porté les résultats sur du papier logarithmique, MM. Middlekauff et Skogland ont reconnu que, en général, les valeurs de J en fonction de V se plaçaient sur une courbe dont l'équation est de la forme

$$\log J = A \log^2 V + B \log V + C. \qquad (1)$$

En répétant les mêmes opérations pour les valeurs de W en fonction de V, ils ont encore retrouvé une courbe identique à la précédente et qui, par conséquent, est représentée par une équation de la même forme

$$\log W = A' \log^2 V + B' \log V + C'.$$

Digitized by Google

Comme, par définition, $w = \frac{W}{J}$, on a

$$\log w = \log W - \log J.$$

L'équation exprimant la consommation spécifique en fonction de la tension s'obtiendra donc par soustraction des deux premières

$$\log w = (A' - A) \log^2 V + (B' - B) \log V + C' - C.$$

La même remarque s'applique à I, intensité du courant qui traverse la lampe

$$I = \frac{W}{V}, \quad \log I = \log W - \log V,$$

et

$$\log I = A' \log^2 V + (B' - 1) \log V + C'.$$

La solution complète du problème n'exige donc que la détermination des coefficients des deux premières équations. Ce travail a été fait par la méthode des moindres carrés et par la méthode de Gauss, en utilisant de nombreux résultats expérimentaux. Les auteurs, toutefois, ont introduit une légère modification inspirée par les considérations suivantes : pour pouvoir comparer les courbes correspondantes des différentes lampes ou pour pouvoir tirer une valeur moyenne de chaque variable pour le groupe de lampes, il est nécessaire de prendre comme base une certaine valeur de la consommation spécifique et d'exprimer les valeurs des autres variables en fonction de leurs valeurs correspondant à la base choisie ou en pour 100 de ces valeurs.

La valeur numérique donnée à w n'a aucune importance ; mais il a paru qu'une consommation spécifique de 1,20 w par bougie s'accordait mieux avec les courbes en question. On considérera comme normales les valeurs correspondantes de l'intensité lumineuse, de la tension, etc. et nous les représenterons par les mêmes lettres affectées de l'indice o, soit J_0, V_0, W_0, etc. Les coefficients numériques ont été déterminés, non pas en faisant entrer J, V, etc. dans les équations, mais les rapports $\frac{J}{J_0}$, $\frac{V}{V_0}$ etc. ou les valeurs des variables en pour 100 des valeurs normales correspondantes, comme il a été dit ci-dessus. Il résulte de cette dernière condition que les termes en C doivent disparaître de toutes les équations sauf de celle qui exprime w en fonction de $\frac{V}{V_0}$, quand on donne à w la valeur 1,20 w par bougie, car alors $J = J_0$, etc... et $\log \frac{J_0}{J_0} = 0$.

Pour la rapidité des écritures, les auteurs posent

$$x = \log \frac{V}{V_0}, \quad y_1 = \log w, \quad y_2 = \log \frac{J}{J_0}, \quad y_3 = \log \frac{W}{W_0}, \quad y_4 = \log \frac{I}{I_0},$$

et écrivent l'équation générale sous la forme

$$y_n = A_n x^2 + B_n x + C_n,$$

dans laquelle $C = 0$ sauf pour $n = 1$; les valeurs de l'indice n sont d'ailleurs en correspondance avec celles de y. La condition fondamentale à laquelle doivent satisfaire ces quantités est

$$x = y_2 = y_3 = y_4 = \log 1 = 0,$$

quand

$$y_1 = \log 1{,}20 = 0{,}07918.$$

V. — Equations caractéristiques. — Tous calculs faits, les auteurs trouvent

$$y_1 = 0{,}918\, x^2 - 2{,}009\, x + 0{,}07918; \quad (1)$$
$$y_2 = -0{,}946\, x^2 + 3{,}592\, x, \quad (2)$$
$$y_3 = -0{,}028\, x^2 + 1{,}583\, x, \quad (3)$$
$$y_4 = -0{,}028\, x^2 + 0{,}583\, x. \quad (4)$$

On en déduit les relations suivantes d'une application très fréquente et souvent plus avantageuse que les formes canoniques

$$x = 1{,}09190 - 1{,}0430 \sqrt{1{,}02073 + y_1}, \quad (1a)$$
$$x = 1{,}89870 - 1{,}0282 \sqrt{3{,}41000 - y_2}, \quad (2a)$$
$$y_1 = 2{,}88028 - 1{,}5169 \sqrt{3{,}41000 - y_2} - 0{,}970\, y_2, \quad (5)$$
$$y_2 = 1{,}74682 - 1{,}5878 \sqrt{1{,}02073 + y_1} - 1{,}031\, y_1, \quad (5a)$$

Comme les équations (1) à (4) sont du second degré, elles admettent deux racines ; par exemple, (1 a) donne

$$x = 1{,}09490 \pm 1{,}0439 \sqrt{1{,}02073 + y_1}.$$

La condition $x = y = 0$ quand $y_1 = 0{,}07918$ indique sans ambiguité la racine qui convient comme solution.

VI. — Emploi des équations. — Pour résoudre n'importe quel problème par cette méthode, on commence par déduire, des valeurs observées de la tension V, de l'intensité lumineuse J et de la consommation spécifique w, les valeurs qui correspondent au rendement que nous avons qualifié de normal et qui répond à la consommation spécifique arbitraire de 1,20 watt par bougie. Pour cela, dans (1 a) et (5 a) on remplace y_1 par le logarithme des watts par bougie observés ; la première équation donne $\frac{V}{V_0}$; la deuxième, $\frac{J}{J_0}$. En divisant ces rapports respectivement par V et J, on en déduira V_0 et J_0. Les watts consommés $W_0 = J_0 \times 1{,}20$.

Exemples numériques. — Pour une lampe n° 2 658 à filament de tungstène deux expériences ont donné

	V	J	w
1	65,0	6,64	3,694
2	70,7	9,28	3,021

Remplaçons dans (1 a) y_1 successivement par log 3,694 et log 3,021 ; il vient

1. $\log \frac{V}{V_0} = 1{,}09490 - 1{,}0439 \sqrt{1{,}02073 + 0{,}56750}$
$= 1{,}09490 - 1{,}31557 = -0{,}22067 + 1 - 1 = 1{,}77933,$
$\frac{V}{V_0} = 0{,}6016, \quad V_0 = \frac{650}{0{,}6016} = 108{,}04$ v.

2. $\log \frac{V}{V_0} = 1{,}09490 - 1{,}0439 \sqrt{1{,}02073 + 0{,}48015}$
$= 1{,}81602..$
$\frac{V}{V_0} = 0{,}6546, \quad V_0 = \frac{70{,}7}{0{,}6546} = 108$ v.

Digitized by Google

Pour calculer J_0, nous nous servirons de l'équation (1 *a*) dans laquelle nous remplacerons encore y_1 successivement par log 3,694 et log 3,021 ; on a ainsi

1. $\text{Log}\,\frac{J_0}{J} = 1{,}74682 - 1{,}5868\sqrt{1{,}02073 + 0{,}56750}$

$$- 1{,}031 \times 0.56750 = 1,\ 16071.$$

$$\frac{J}{J_0} = 0{,}14478, \quad J_0 = \frac{6{,}64}{0{,}14478} = 45{,}87 \text{ bougies.}$$

2. $$\frac{J}{J_0} = 0{,}20256, \quad J_0 = \frac{9.28}{0{,}20256} = 45{,}81 \text{ bougies.}$$

En prenant la moyenne des deux valeurs calculées, on trouve

$$V_0 = 108{,}02 \text{ v}, \quad J_0 = 45{,}84 \text{ bougies}$$

et $$W_0 = 1{,}20 \times 45{,}84 = 55{,}01 \text{ watts}$$

Ayant ainsi déterminé la tension normale, on pourra dans la suite déterminer les valeurs de toutes les variables correspondant à une tension observée quelconque V. Il suffira de porter la valeur de $\frac{V}{V_0}$ dans les équations 1 à 4. Soit $V = 65{,}0$ v; on, aura

$$\log\frac{J}{J_0} = -0{,}946\log^2\frac{65}{108{,}02} + 3{,}592\log\frac{65}{108{,}02} = 1,\ 16149.$$

$$\frac{J}{J_0} = 0{,}14504 \text{ ou } 14{,}504 \text{ pour } 100.$$

$$J = 0{,}14504 \times J_0 = 0{,}14504 \times 45{,}84 = 6{,}65 \text{ bougies}$$

et ainsi de suite. On voit que le traitement de ces équations ne présente aucune difficulté; il comporte seulement des calculs longs et fastidieux. C'est pourquoi les auteurs ont indiqué quelques méthodes plus rapides grâce à l'emploi d'un grand nombre de tables numériques qui ne remplissent pas moins de quinze pages de leur mémoire. Nous ne pouvons pas les reproduire, car cette analyse ne doit envisager que la partie théorique du mémoire.

VII. — Application des équations caractéristiques a l'étalonnage de lampes. — I. *Lampes étalonnées pour la tension correspondant à une intensité lumineuse donnée.* — Les lampes en question sont de fabrication récente et doivent être étalonnées d'après les prescriptions ci-dessous

Numéros des lampes.	Puissances en watts.	Conditions à remplir.
1 et 2	25	Tension pour 20 bougies.
3 et 4	40	Tension pour 34 bougies.
5, 6 et 7	60	Tension pour 52 bougies.

Les lampes sont photométrées à cinq tensions conformément aux spécifications suivantes : 1° à égalité de couleur avec les étalons à filament de carbone à 4 watts par bougie ; 2° à égalité de couleur avec les étalons à filament de tungstène à 1,5 watt par bougie ; 3° à deux tensions donnant des intensités lumineuses légèrement supérieures et inférieures à l'intensité imposée ; la mesure comporte l'appréciation de deux lumières de couleurs différentes ; 4° à égalité de couleur avec des étalons au tungstène dont on connait les intensités lumineuses pour un intervalle assez étendu de tensions.

Le tableau ci-dessous contient les intensités lumineuses et les tensions observées ainsi que les consommations spécifiques déduites de la connaissance de ces deux quantités et des courants correspondants.

Tableau I.

Nos des lampes	1re méthode			2e méthode			4e méthode		
	V	J	w	V	J	w	V	J	w
1	68,7	3,83	3,086	97,6	13,66	1,508	106,8	20,04	1,158
2	69,6	3,87	3,001	96,0	13,15	1,474	107,9	20,00	1,166
3	68,5	6,31	3,036	95,0	21,98	1,467	107,2	34,15	1,144
4	68,2	6,17	3,077	95,0	21,87	1,473	107,3	34,11	1,144
5	68,5	8,94	3,069	95,0	31,10	1,485	109,6	52,20	1,109
6	70,8	9,19	3,071	97,3	31,12	1,506	112,1	53,04	1,128
7	70,8	9,20	3,060	97,6	31,14	1,508	112,3	51,66	1,136

Des valeurs observées pour chaque lampe, on déduit J_0, V_0 et W_0 comme dans les exemples cités plus haut ; puis connaissant $\frac{J}{J_0} = \frac{20}{J_0} = y_2$, on déduit $\frac{V}{V_0} = x$ de l'équation (2 *a*); on a donc V demandé.

Les tensions calculées de cette façon et correspondant aux intensités lumineuses imposées sont consignées dans le tableau II.

Tableau II.

Numéros des lampes	Première méthode	Deuxième méthode	Troisième méthode	Quatrième méthode
1	106,7	106,65	106,75	106,8
2	107,7	107,75	107,9	107,9
3	107,2	107,1	107,2	107,1
4	107,3	107,3	107,25	107,2
5	109,5	109,5	109,55	109,5
6	112,2	112,1	113,15	112,1
7	112,3	112,4	112,3	112,5
Moyennes.	109,0	109,0	109,0	109,0

On constate que les quatre méthodes ont donné pour chaque lampe des tensions qui diffèrent de moins de 0,05 pour 100 de la moyenne.

Le tableau III ci-dessous établit un parallèle entre les valeurs calculées des intensités lumineuses d'après les observations à égalité de couleur avec les lampes au carbone et les valeurs de ces intensités mesurées à des tensions correspondant à l'égalité de couleur avec les étalons au tungstène.

La dernière ligne horizontale ne veut pas dire que les lampes ont été réglées à la moyenne de 23, 29 bougies, mais seulement que les moyennes mesurées et calculées pour les 7 lampes sont effectivement identiques. Cette identité n'est qu'un effet du hasard, car on devait s'attendre à une différence d'au moins 0,1 pour 100 d'après la moyenne des écarts individuels.

L'identité entre les moyennes du tableau II démontre aussi surabondamment la concordance remarquable qui

Digitized by Google

TABLEAU III.

NUMÉROS DES LAMPES	INTENSITÉS LUMINEUSES EN BOUGIES		DIFFÉRENCES EN POUR 100 ENTRE LES VALEURS MESURÉES ET CALCULÉES
	mesurées	calculées	
1	12,66	12,63	+ 0,24
2	13,15	13,17	— 0,15
3	21,98	21,92	+ 0,27
4	21,87	21,87	0,00
5	31,10	31,14	— 0,13
6	31,12	30,95	+ 0,55
7	31,14	31,32	— 0,57
Moyennes...	23,29	23,29	+ 0,27

existe entre les valeurs mesurées et les valeurs déduites des équations caractéristiques.

2. *Lampes étalonnées à une tension donnée à l'aide des valeurs calculées d'après les mesures effectuées à égalité de couleur avec les prototypes au carbone à 4 watts par bougie.* — Nous ne ferons qu'indiquer cette deuxième application dont le succès est, d'ailleurs, comparable à celui de la précédente,

VIII. — TRANSFORMATION DES ÉQUATIONS QUAND ON ADOPTE UN AUTRE NOMBRE POUR LA CONSOMMATION SPÉCIFIQUE DE BASE. — Nous avons vu que MM. Middlekauff et Skogland ont établi leurs équations en prenant arbitrairement comme consommation spécifique normale le nombre 1,20 watt par bougie. Quelles modifications faudra-t-il faire subir aux équations si l'on veut changer de base, par exemple fixer à 1,10 watt par bougie la consommation spécifique normale.

Tout d'abord il est évident que la forme de l'équation générale

$$y_n = A_n x^2 + B_n x + C, \qquad (6)$$

n'est pas changée. La constante A_n est aussi indépendante du choix de la base, comme nous allons le montrer. En effet, en un point quelconque de la courbe figurée par l'équation ci-dessus le coefficient angulaire de la tangente a pour valeur

$$\frac{dy}{dx} = 2A_n x + B_n; \qquad (7)$$

le second membre contenant x, c'est-à-dire la tension, peut être considéré comme une fonction de la consommation spécifique w (ou même de l'une quelconque des autres grandeurs J^2 W etc.), mais la dérivée seconde $\frac{d^2y}{dx^2}$ est constante, et égale à $2A_n$, donc A_n est indépendant de la valeur de la base choisie.

Avec la nouvelle base, la constante C devient.

$$C' = \log 1{,}10 = 0{,}04139.$$

Il ne reste plus qu'à qu'à déterminer B_n. Pour cela nous remarquerons que le coefficient angulaire de la tangente à la courbe au point correspondant à la base 1,20 watt par bougie est précisément égal à B_n, car dans la formule

$$\frac{dy_n}{dx} = 2A_n x + B_n,$$

d'après les hypothèses faites au paragraphe IV,

$$x = \log \frac{V}{V_0} = \log 1 = 0,$$

donc

$$\left(\frac{dy_n}{dx}\right)_{\text{normal}} = B_n.$$

Dans l'équation (1 *a*) remplaçons y_1 par $\log 1{,}10 = 0{,}04139$; nous obtiendrons une certaine valeur x' correspondant à la nouvelle base; substituons cette valeur à x dans (7), nous aurons alors le coefficient angulaire de la tangente à la courbe correspondant à la nouvelle base.

$$\left(\frac{dy'_n}{dx'}\right)_{\text{normal}} = 2A'x + B_n = B'_n.$$

L'équation générale répondant à la nouvelle base est donc

$$y'_n = A_n x^2 + B'_n x + C' \qquad (8)$$

$$= A_n x^2 + (2A_n x' + B_n)\, x + C', \qquad (9)$$

Application numérique. — Pour $w = 1{,}10$, l'équation (1*a*) donne $x' = 0{,}01895$ ou rapport $\frac{V}{V_0}$ correspondant à la nouvelle base; d'où

$$B'_n = 2 \times 0{,}918 \times 0{,}01895 - 2{,}009 = -1{,}974.$$

L'équation (1) devient (1')

$$y_1' = -0{,}918\, x^2 - 1{,}974\, x + 0{,}04139. \qquad (1')$$

Le calcul de B' pour toutes les autres équations se fait de même.

$$y'_2 = -0{,}946\, x^2 + 3{,}556\, x, \qquad (2')$$

$$y'_3 = -0{,}028\, x^2 + 1{,}582\, x, \qquad (3')$$

$$y'_4 = -0{,}028\, x^2 + 0{,}582\, x. \qquad (4')$$

Quand on connait la valeur Y_n de l'une des variables dans un système de base, soit 1,20 watt par bougie, il est facile de déduire la valeur de cette variable dans une autre base, soit 1,10 watt par bougie. En effet de (9) et (6), on tire

$$\log \frac{Y'_n}{Y_n} = y'_n - y_n = (B'_n - B_n)\, x + C' - C$$

$$= 2A_n x'.x + C - C; \qquad (10)$$

$C' = C = 0$, sauf pour $n = 1$. Par conséquent, si l'on dispose de courbes ou de tables des valeurs de Y_n on déduira les valeurs de cette variable pour une autre base en se servant des relations (10). Les auteurs donnent encore des procédés et des tables qui permettent d'abréger les calculs. — B. C.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

Réglage de la vitesse des moteurs d'induction par couplage en cascade

La question du réglage de la vitesse des moteurs d'induction préoccupe depuis longtemps les ingénieurs ; dans cet article, l'auteur expose sommairement quelques-uns des dispositifs proposés jusqu'à ce jour ; il indique finalement avec quelques détails un procédé plus général.

Généralités. — La solution complète du réglage de vitesse dans un intervalle étendu consiste dans l'emploi de moteurs à collecteur ; elle n'est d'ailleurs, pour des raisons économiques ou par suite de difficultés de construction, réalisable jusqu'à présent que pour des puissances ne dépassant pas 500 kw.

Or, il existe de très nombreuses applications des plus intéressantes et mettant en jeu des puissances élevées, notamment dans le domaine des mines et de la métallurgie, pour lesquelles on peut se contenter d'une gamme limitée quoique continue de vitesses autour d'une valeur moyenne. On a donc cherché de bonne heure à adapter à ces conditions le moteur ordinaire d'induction qui, pouvant se construire pour les plus grandes puissances, présente des qualités précieuses de simplicité, robustesse, forte capacité de surcharge instantanée ou prolongée, enfin un rendement élevé ; la solution consiste dans le couplage en cascade avec le moteur principal d'une machine auxiliaire à collecteur qui, recueillant aux bagues du rotor l'énergie correspondant au glissement, la restitue soit sous forme mécanique sur l'arbre du moteur principal, soit sous forme électrique aux bornes du réseau.

L'emploi de résistances intercalées dans le circuit rotorique constitue encore un procédé assez répandu de réglage du glissement, mais, outre qu'il donne lieu à un coûteux gaspillage d'énergie et à des difficultés pour la dissipation de la chaleur correspondante, il ne permet pas de maintenir à vide une vitesse différente de celle correspondant au synchronisme ; ce peut être un sérieux inconvénient, notamment pour la commande des laminoirs, car, si le travail doit se faire pour certains profils à vitesse réduite, il faut éviter que cette vitesse s'élève dans l'intervalle des passes successives lorsque la charge disparaît.

Le recours à l'emploi de machines à collecteur en cascade pour le réglage de vitesse permet non seulement d'économiser de l'énergie, de réaliser une vitesse variable à volonté à vide et en charge, mais encore procure une amélioration possible du facteur de puissance du moteur principal ; la machine auxiliaire peut en effet assurer la fourniture du courant magnétisant nécessaire et cette excitation par le rotor, qui ne met en jeu, grâce à la valeur réduite de la fréquence du glissement, qu'une puissance réactive peu élevée, rend souvent possible un dimensionnement plus économique des gros moteurs à faible vitesse; elle permet également d'en augmenter l'entrefer si des raisons d'ordre mécanique le recommandent, sans que l'on ait à craindre, comme avec les moteurs ordinaires, un affaiblissement du facteur de puissance et du couple de décrochage. Au contraire, le renforcement du flux dans le rotor qui résulte de la compensation du courant réactif du stator a pour conséquence un accroissement très sensible du couple maximum qu'est susceptible de développer le moteur en cas de brusque surcharge, d'autant plus que les diverses chutes de tension qui, par ailleurs, l'affectent fâcheusement dans le moteur d'induction simple, sont très réduites et peuvent même être supprimées par une compensation convenable.

En marche normale, l'amélioration du facteur de puissance présente les avantages considérables qui résultent de l'emploi le plus souvent envisagé dans ce but exclusif des moteurs synchrones : par la réduction des pertes Joule et des chutes de tension dans les génératrices, lignes et transformateurs, elle procure dans le fonctionnement des réseaux de distribution des économies dont l'importance depuis longtemps signalée est aujourd'hui généralement reconnue.

Cependant, bien que tous les dispositifs de couplage en cascade proposés jusqu'à ce jour aient fait la preuve de leur bon fonctionnement et de l'intérêt qu'ils présentent au point de vue économique, dans un assez grand nombre d'installations où ils donnent toute satisfaction, ils sont loin de s'être répandus autant qu'on aurait pu attendre.

Ce n'est pas que leur domaine d'application ne soit extrêmement vaste : il s'étend d'autant plus que s'élève davantage le prix de l'énergie et qu'il devient de jour en jour plus urgent de relever le facteur de puissance des réseaux de distribution. Mais un certain nombre de défauts communs à tous ces dispositifs et que nous

Digitized by Google

allons énumérer en décrivant sommairement les diverses solutions proposées jusqu'à présent, restreignent encore d'une manière fâcheuse leur efficacité.

Dispositifs proposés. — Dans le dispositif de la figure 1, la machine auxiliaire est un moteur polyphasé

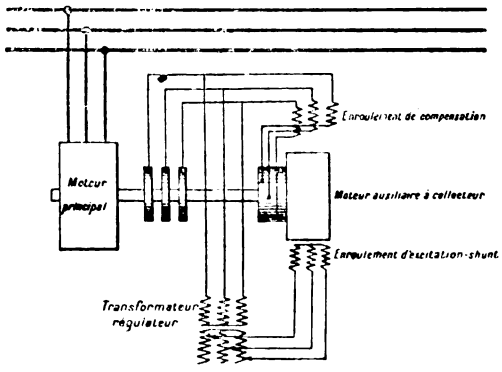


Fig. 1. — Moteur à collecteur compensé en cascade.

à collecteur qui peut être soit calé directement sur l'arbre du moteur principal, soit constituer un groupe indépendant par couplage avec un moteur d'induction ordinaire qui, fonctionnant en génératrice asynchrone, renvoie au réseau l'énergie récupérée aux bagues du rotor par le moteur à collecteur; ce dernier, dont l'armature est celle d'une machine ordinaire à courant continu, comporte au stator un enroulement de compensation réparti et des bobines inductrices dont l'excitation série ou shunt se fait à la fréquence du glissement du moteur principal.

On peut aussi utiliser (fig. 2) une commutatrice, qui,

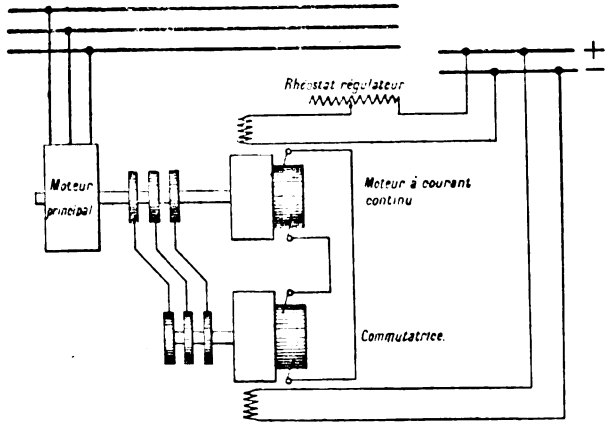


Fig. 2. — Commutatrice en cascade et récupération par un moteur à courant continu.

reliée d'une part par ses bagues au rotor du moteur principal, transforme le courant qu'elle en reçoit à la fréquence du glissement en courant continu; celui-ci alimente d'autre part un moteur ordinaire dont l'excitation réglable à volonté détermine la tension dans le système en cascade et, par suite, la vitesse du moteur principal, puisque la tension secondaire est proportionnelle au glissement.

Enfin, dans le schéma de la figure 3, un transformateur de fréquence renvoie directement au réseau l'énergie électrique disponible aux bagues du rotor.

Ces divers dispositifs ne permettent d'obtenir pour le moteur principal qu'une vitesse inférieure à celle correspondant au synchronisme ; alors même qu'à première vue certains d'entre eux tout au moins se prêteraient à un fonctionnement en hypersynchronisme, celui-ci est instable et pratiquement irréalisable.

L'expérience montre en effet que l'approche du synchronisme est marqué par l'apparition d'un certain nombre de phénomènes perturbateurs, tels que l'auto-excitation avec une fréquence indépendante de celle du régime normal, ou des oscillations pendulaires (pompages) persistantes et pouvant atteindre une amplitude excessive ; en outre, il n'est plus possible à cette vitesse de compenser le déphasage du courant principal.

L'origine commune de ces inconvénients est l'emploi pour l'excitation d'une fréquence qui s'annule au synchronisme ; l'influence de la résistance ohmique des circuits prédomine alors sur les effets qui résultent de la seule induction, ou bien, comme dans le dispositif qui utilise une commutatrice, la liaison synchrone entre le rotor et la machine auxiliaire devient lâche et il s'ensuit un décrochage

Ainsi, dans ce dernier cas, l'expérience montre que l'on ne peut dépasser une vitesse de 9 à 10 pour 100 environ en deçà du synchronisme ; cela oblige à dimensionner les machines auxiliaires, si le domaine de réglage est par exemple de 30 pour 100, pour 39 pour 100 de la puissance du moteur principal, et ce dernier lui-même pour une puissance supérieure de 9 pour 100 à la valeur maximum qu'il ait à développer à la vitesse la plus élevée.

Si, au contraire, on pouvait réaliser un réglage de part et d'autre du synchronisme, par exemple de 15 pour 100 en deçà et 15 pour 100 au delà, il suffirait de dimensionner le groupe auxiliaire pour 15 pour 100 seulement de la puissance principale, soit par rapport au cas précédent une réduction de plus de 60 pour 100 dans la grandeur des machines qu'il comporte.

Le moteur principal lui-même verrait sa puissance réduite de $15 + 9 = 24$ pour 100, car à la vitesse maximum une fraction de la puissance totale correspondant au glissement négatif de 15 pour 100 lui est fournie par le rotor.

La figure 4 où la droite OA représente en fonction de la vitesse la puissance développée à pleine charge par le moteur principal, illustre cette comparaison par la grande différence qu'elle manifeste entre les aires hachurées dans les deux cas du réglage hyposynchrone ou à la fois hypo et hypersynchrone.

Dispositif à double réglage. — Nous allons décrire ci-dessous un dispositif permettant de réaliser ce desideratum du double réglage, c'est-à-dire le passage par le synchronisme sans qu'il s'ensuive de

Digitized by Google

perturbations gênantes telles qu'auto-excitation, pompages, etc...

Nous avons vu que ces phénomènes résultaient de l'annulation de la fréquence d'excitation ou de réactions parasites entre les divers circuits au delà d'une vitesse critique ; il convient donc de recourir pour l'excitation à une fréquence dont la valeur reste constamment assez élevée, et de disposer le circuit induit relié aux bagues du moteur principal de manière qu'il

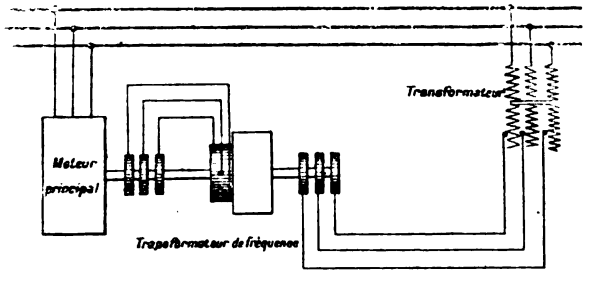


Fig 3. Transformateur de fréquence renvoyant au réseau l'énergie de glissement.

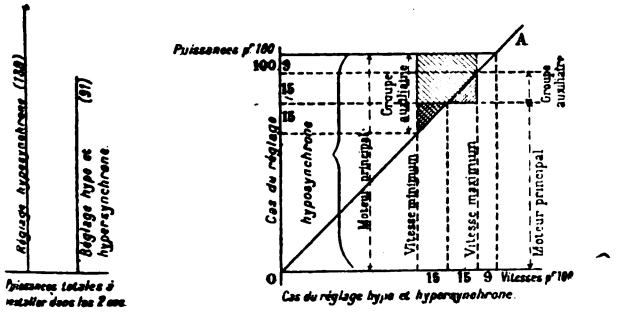


Fig. 4. Comparaison du réglage hyposynchrone et du réglage de part et d'autre du synchronisme.

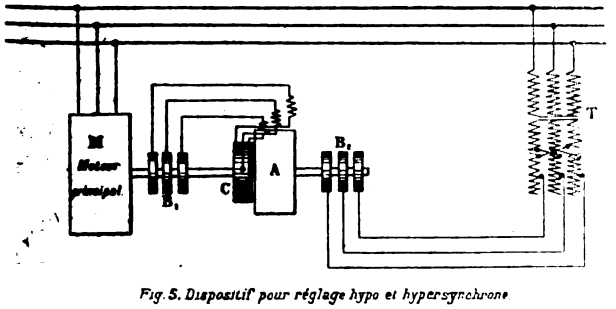


Fig. 5. Dispositif pour réglage hypo et hypersynchrone

Fig. 3, 4 et 5. — Divers dispositifs de réglage.

n'exerce aucune réaction sur le circuit excitateur. Nous constituerons donc le premier circuit en montant, en série, avec un rotor ordinaire de machine à courant continu, un enroulement de compensation réparti sur le stator et dont l'action légèrement prédominante soit telle que l'ensemble ne présente aucune induction mutuelle avec le circuit excitateur porté par le rotor ; ce dernier circuit distinct ou non de l'enroulement principal est alimenté au moyen de bagues à la fréquence du réseau.

En raison de la compensation, le flux dans l'armature résulte exclusivement du courant d'excitation qui est ainsi presque entièrement déwatté ; sa valeur est déterminée par la tension appliquée aux bagues puisque la fréquence d'alimentation est constante.

Le fonctionnement du moteur à collecteur est ainsi rendu complètement indépendant de la fréquence du glissement : la force électromotrice qu'il fournit, proportionnelle à la vitesse de l'armature et au flux excitateur, conserve, même lorsque la fréquence s'annule, une grandeur et une phase parfaitement déterminées. La marche du dispositif reste par conséquent tout à fait stable dans des conditions où les accouplements inductifs entre circuits mis en jeu par les autres systèmes, deviennent lâches et indécis ; au synchronisme même, le flux dans la machine auxiliaire est immobile par rapport aux lignes de balais qui fournissent donc au rotor du moteur principal du courant continu.

Enfin, grâce à l'indépendance du circuit d'excitation vis-à-vis du circuit principal, et à moins que les balais ne soient décalés en deçà de la position correcte qui assure la compensation, il ne peut se produire aucune auto-excitation.

Pour que la fréquence de la force électromotrice développée par le moteur à collecteur corresponde au glissement du moteur principal, il faut que les vitesses de ces deux machines soient proportionnelles à leurs nombres de pôles respectifs ; en effet, cette fréquence est celle de la rotation du flux inducteur qui se déplace d'autre part par rapport à l'armature avec une vitesse constante dépendant de la fréquence du réseau.

La manière la plus simple de réaliser cette concordance consiste dans l'accouplement direct (fig. 5) qui exige l'égalité du nombre de pôles. Avec cette disposition où l'énergie n'est fournie à l'ensemble que par le stator du moteur principal, à égalité de charge et de couple transmis par celui-ci, la puissance totale reste constante ; le couple total est, par conséquent, en raison inverse de la vitesse du groupe.

Ces caractéristiques, outre la simplicité de cette solution, sont particulièrement avantageuses dans la commande des groupes-tampons pour lesquels la diminution du couple lorsque la vitesse croît, loin d'être un inconvénient, correspond à la possibilité d'absorber ou fournir la même puissance dans toute l'étendue de la zone de régulation.

Rappelons que de tels groupes, associés à de lourds volants à grande vitesse et comportant une marge de réglage suffisante, conviennent spécialement aux sous-stations de traction où ils remplacent avec avantage aux points de vue frais de premier établissement, entretien et rendement, les batteries-tampons.

Dans la figure 5, M représente le moteur principal avec ses bagues B_1, A le moteur auxiliaire, C son collecteur et B_2 ses bagues d'excitation ; celle-ci est fournie par le transformateur régulateur T relié d'une part au réseau, d'autre part aux bagues B_2 et par lequel s'effectue le réglage de la vitesse et du facteur de puissance du groupe, au moyen de modifications en grandeur et en phase de la tension secondaire qu'il fournit. Cette

Digitized by Google

dernière doit donc comporter deux composantes rectangulaires, la première constante pour l'excitation du courant réactif du moteur principal, la deuxième variable pour le réglage du glissement qui lui est proportionnel; ces deux tensions sont développées dans le même transformateur par une connexion appropriée des phases.

Suivant la caractéristique, série, shunt ou compound, à réaliser dans le réglage du moteur principal, c'est à-dire, suivant que l'on se propose d'obtenir une simple augmentation du glissement en charge, ou une vitesse variable à volonté à vide, avec un glissement en charge soit peu différent du glissement normal, soit enfin majoré dans une proportion arbitraire, on montera le primaire du transformateur en série ou en parallèle avec le stator du moteur principal, ou suivant une combinaison de ces deux dispositifs.

Dans ce dernier cas, il convient de noter, pour le montage du transformateur de tension et du transformateur d'intensité (fig. 6), qu'on ne saurait se contenter de les mettre simplement en parallèle, ce qui reviendrait à court-circuiter le transformateur d'intensité. De même il ne suffirait pas de les monter en série à moins que ce dernier ne présente des fuites notables ou un fort courant magnétisant pour permettre au transformateur de tension d'agir; sinon on adoptera le schéma plus général de la figure 7, où une bobine d'impédance convenable shuntant le transformateur série donne lieu dans le circuit en dérivation à une certaine chute de tension proportionnelle au courant primaire.

Dispositif fonctionnant à puissance variable. — Le dispositif précédent à accouplement direct et à puissance constante ne conviendrait pas dans un grand nombre d'applications où le couple résistant est soit constant, soit à fortiori croissant avec la vitesse, comme pour la commande des laminoirs, des ventilateurs, soufflantes, pompes centrifuges, etc... On constitue alors un groupe séparé en accouplant le moteur à collecteur à une machine motrice spéciale, généralement un moteur d'induction qui fonctionne comme génératrice asynchrone et restitue de l'énergie au réseau dans la marche hyposynchrone du moteur principal. La vitesse de ce groupe auxiliaire peut être choisie assez élevée, ce qui permet d'en réduire le nombre de pôles et les dimensions et, pour assurer la concordance des fréquences et des phases sans l'assujettir au synchronisme relatif, on aura recours à l'un des dispositifs suivants.

Dans le système représenté par la figure 8, le collecteur du moteur auxiliaire reçoit le courant d'excitation d'une série supplémentaire de balais mobiles montés sur une couronne commune que fait tourner un renvoi à une vitesse proportionnelle à celle du moteur principal.

Le système de la figure 9 comporte l'emploi d'une machine auxiliaire D dont l'armature, solidaire de celle du moteur à collecteur, lui est reliée directement en un nombre de phases arbitraire, de préférence assez élevé et avec le même nombre de pôles. Ce couplage en série entraîne la concordance du champ en grandeur et en orientation dans les deux machines, quelle que soit la vitesse du groupe auxiliaire que l'on peut ainsi commander par un moteur asynchrone; cette valeur commune du flux est déterminée dans la machine D par l'enroulement d'excitation que porte son anneau externe jouant le rôle de stator et relié par les bagues B_3 au transformateur régulateur. La fréquence et la phase convenables sont assurées en faisant tourner cet anneau en synchronisme avec le rotor du moteur principal auquel on peut l'accoupler soit mécaniquement, soit

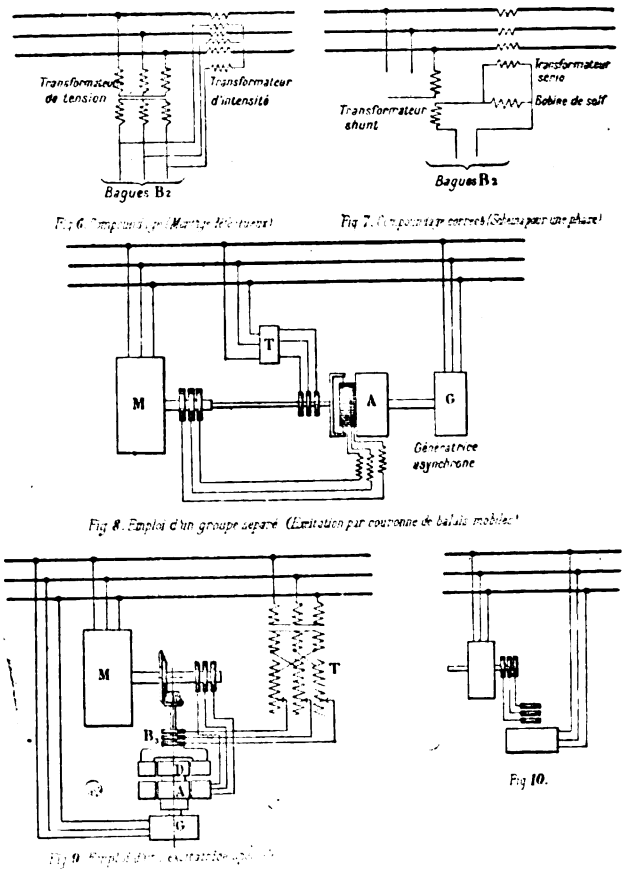


Fig. 6 à 10. — Autres dispositifs de réglage.

électriquement; cette dernière solution (fig. 10) consiste, par exemple, en l'emploi de deux petits moteurs d'induction calés respectivement sur les deux arbres à synchroniser, alimentés à la même fréquence et dont les rotors bobinés sont connectés entre eux bague à bague; leurs nombres de pôles, tout à fait indépendants de celui du moteur principal, doivent correspondre au contraire à une vitesse de synchronisme propre assez élevée et en dehors de la zone de réglage pour que leur synchronisation ne cesse pas d'être assurée.

Il est à remarquer que tous ces renvois mécaniques ou électriques reliant le groupe auxiliaire au moteur principal peuvent être prévus très légers, car ils n'ont à transmettre qu'une puissance réduite correspondant

Digitized by Google

seulement aux pertes par hystérisis et aux pertes Joule dans les deux armatures de A et D dues au courant d'excitation presque entièrement déwatté qui les parcourt, enfin aux pertes par frottement de l'inducteur mobile de D.

On peut encore, en recourant à la disposition ci-dessous, éviter d'avoir à constituer la machine auxiliaire D en deux parties toutes deux mobiles : en rendant fixe l'inducteur de D, il faut toutefois conserver à l'induit par rapport au stator la même vitesse relative, ce qu'on obtient en ne l'accouplant plus à l'armature du moteur à collecteur, mais en le commandant par un renvoi différentiel qui dépend, d'une part, de la vitesse du groupe, d'autre part, de celle du moteur principal.

Il est même alors possible de se passer du transformateur régulateur; il suffit pour cela de former le stator de D de deux parties juxtaposées pouvant être décalées l'une par rapport à l'autre par vis tangente comme dans le régulateur double d'induction et permettant ainsi un réglage continu de la tension et du flux dans le groupe auxiliaire.

Les organes accessoires comme le différentiel n'ont encore à transmettre qu'une puissance très réduite et peuvent être commandés à distance par le dispositif de synchronisation électrique déjà décrit; on peut, d'ailleurs, substituer au différentiel mécanique un moteur d'induction dont le stator et le rotor soient respectivement connectés aux rotors de deux petits moteurs d induction calés sur l'arbre du groupe et sur celui du moteur principal, pourvu toutefois que, par un choix convenable du nombre de pôles ou simplement du sens de rotation du champ tournant, on évite pour ce système le passage par le synchronisme dans la zone de régulation.

Diagramme de fonctionnement. — Nous allons établir le diagramme de fonctionnement du système ci-dessus par la méthode symbolique, en envisageant d'abord, pour plus de simplicité, le cas du groupe auxiliaire séparé tournant à vitesse constante (au glissement près du moteur de commande) et en négligeant provisoirement la résistance primaire et l'hystérésis dont il nous sera facile de tenir compte par la suite.

Soient M, L_1, L_2 les coefficients d'induction mutuelle et de self-induction totale, R_1, R_2 les résistances du primaire et du secondaire du moteur principal, par phase, en comprenant dans L_2 et R_2 la self-induction et la résistance de tout le circuit qui contient, outre le rotor, l'induit et l'enroulement de compensation du moteur à collecteur; Φ_1, Φ_2 les flux totaux, I_1, I_2 les courants primaire et secondaire, $\omega = 2\pi f$ la pulsation primaire, γ le glissement.

Nous exprimerons toutes les quantités relatives au moteur principal en fonction de I_1 courant primaire et Φ_2 flux secondaire : cela revient à envisager un régime quelconque comme résultant de la superposition d'un régime à vide ($I_1 = 0$) et d'un régime en court-circuit ($\Phi_2 = 0$). Ainsi le flux primaire Φ_1 est la somme de sa valeur à vide, fraction $\frac{M}{L_2}$ du flux Φ_2, et de sa valeur $N_1 I_1$ en court-circuit, N_1 désignant le coefficient de self-induction de fuites totales réduites au primaire suivant la définition proposée par M. Boucherot

$$N_1 = \sigma L_1 = L_1 - \frac{M^2}{L_2},$$

où le coefficient

$$\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_1 L_2} > 0,$$

est de l'ordre de 3 à 6 pour 100.

$$\Phi_1 = N_1 I_1 + \frac{M}{L_2}\Phi_2. \qquad (1)$$

D'autre part, si U désigne la tension constante du réseau (par phase ou étoilée)

$$U_1 = \frac{d\Phi_1}{dt} = j\omega\Phi_1, \qquad (j = \sqrt{-1}).$$

Le flux total primaire Φ_1 est donc constant.

Le flux secondaire Φ_2 dépend de la tension U_2 appliquée aux bagues du rotor et de la chute ohmique

$$U_2 = R_2 I_2 + \frac{d\Phi_2}{dt} = R_2 I_2 + j\gamma\omega\Phi_2, \qquad (2)$$

et la tension U_2 résulte elle-même du fonctionnement du moteur à collecteur.

Appelons Φ' le flux embrassé par une section de l'armature dans la zone de commutation; sa valeur grâce à la compensation ne dépend pas de I_2, mais seulement de la tension fournie à fréquence constante par le transformateur régulateur.

Le passage de chaque section par la ligne de balais, d'une voie d'enroulement dans la voie suivante, correspond donc au transfert dans le circuit extérieur d'un flux d'induction Φ', et si la vitesse du groupe auxiliaire est telle que n sections par seconde soient commutées sous chaque ligne de balais, la force électromotrice développée dans le circuit du rotor sera

$$U_2 = n\,\Phi'. \qquad (3)$$

(La résistance ohmique du moteur à collecteur est comprise dans R_2 et son flux de dispersion dans Φ_2.)

Eliminons Φ_2, U_2 entre les équations 1, 2, 3 :

De (2) on tire

$$\Phi_2 = \frac{U_2}{j\gamma\omega} - \frac{R_2 I_2}{j\gamma\omega} = -\frac{j}{\gamma}\frac{n\Phi'}{\omega} + \frac{j}{\gamma}\frac{R_2 I_2}{\omega}.$$

D'où

$$\Phi_1 = N_1 I_1 - \frac{j}{\gamma}\frac{M}{L_2}\frac{n\Phi'}{\omega} + \frac{j}{\gamma}\frac{M}{L_2}\frac{R_2}{\omega} I_2.$$

Or

$$I_2 = \frac{\Phi_1}{M} - \frac{L_1 I_1}{M};$$

Digitized by Google

substituant dans l'équation précédente

$$(4)\quad \Phi_1 = N_1 I_1 - \frac{j}{\gamma}\left(\frac{R_2}{\omega L_2}\right) L_1 I_1 - \frac{j}{\gamma}\left(\frac{M}{L_2}\frac{n\Phi'}{\omega} - \frac{R_2}{\omega L_2}\Phi_1\right),$$

relation entre I_1 et la variable γ que l'on peut écrire

$$I_1 = \frac{\Phi_1 - \frac{1}{\gamma}\left(\frac{jR_2}{\omega L_2}\Phi_1 - \frac{jnM}{\omega L_2}\Phi'\right)}{N_1 - \frac{1}{\gamma}\left(j\frac{R_2}{\omega L_2}L_1\right)}$$

Or, on démontre généralement que toute substitution linéaire, ou relation de cette forme $y = \frac{a + bx}{c + dx}$ correspond à un diagramme circulaire pour l'extrémité du vecteur représentatif de y; il est d'ailleurs aisé, dans chaque cas particulier, de s'en assurer par des considérations géométriques élémentaires.

Dans le diagramme de la figure 11 le polygone O A B C D O se compose des vecteurs qui représentent les différents termes de l'équation (4) divisée par N_1,

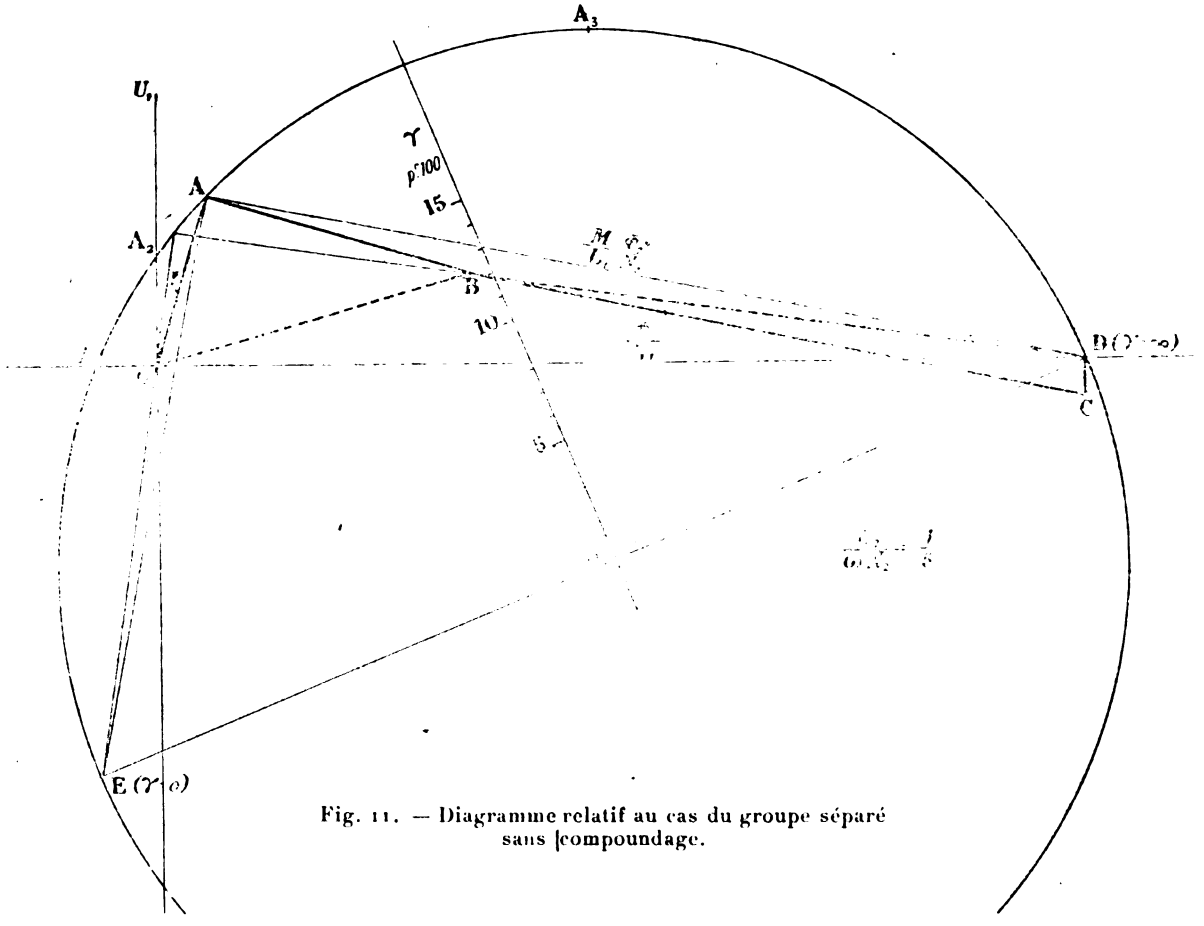


Fig. 11. — Diagramme relatif au cas du groupe séparé sans compoundage.

OA est le courant primaire I_1; AB décalé de $\frac{\pi}{2}$ en arrière de OA (le sens positif des angles est le sens trigonométrique) représente le terme

$$-\frac{j}{\gamma}\frac{R_2}{\omega L_2}\frac{L_1}{N_1}I_1 \quad \text{ou} \quad -\frac{j}{\gamma}\left(\frac{R_2}{\omega N_2}\right)I_1\,;\ \text{OD} \quad -\frac{\Phi_1}{N_1},$$

déphasé de $\frac{\pi}{2}$ en arrière de la tension primaire U_1

$$\text{DC} \quad -\frac{j}{\gamma}\frac{R_2}{\omega L_2}\frac{\Phi_1}{N_1} \quad \text{ou} \quad -\frac{j}{\gamma}\left(\frac{R_2}{\omega N_2}\right)\frac{\Phi_1}{L_1} = -\frac{j}{\gamma}\left(\frac{R_2}{N_2}\right)I_0.$$

I_0 étant le courant primaire à vide sans régulation ($\Phi' = 0$).

$$\text{CB} = +\frac{j}{\gamma}\frac{M}{L_2}\frac{n\Phi'}{\omega}.$$

Lorsque γ varie le point D est fixe; le vecteur BC et le vecteur CD dont l'orientation constante dépend de la phase que donne à Φ' le transformateur-régulateur, varient proportionnellement à $\frac{1}{\gamma}$ de même par conséquent que le troisième côté DB du triangle; de même encore le rapport de AB à OA, qui restent perpendiculaires l'un à l'autre, est proportionnel à $\frac{1}{\gamma}$.

Digitized by Google

Si nous construisons sur OA un triangle OAE semblable à ABD, on reconnaît aisément que le point E est fixe : en effet, la direction OE se déduit de la direction fixe ED par une rotation d'un angle droit tandis que

$$OE = \frac{OA}{AB} BD = k\gamma . k' \frac{1}{\gamma} = C^{te}.$$

Le lieu du point A est donc le cercle EAD ayant ED pour diamètre; le point E correspond au fonctionnement pour $\gamma = 0$, c'est-à-dire au synchronisme

$$OE = \frac{\Phi_1}{L_1} - \frac{M}{L_1} \frac{n\Phi'}{R_2},$$

et le point D au fonctionnement en court-circuit ($\gamma = \infty$)

$$OD = \frac{\Phi_1}{N_1}.$$

Comme le glissement est proprtionnel à $\frac{EA}{AD}$ ou à tg $\widehat{ADE}$, on peut le mesurer sur une graduation perpendiculaire à ED dont l'échelle se calcule en déterminant pour un glissement donné le rapport $\frac{OA}{AB} = \frac{EA}{AD}$ et le comparant à la valeur connue de $\frac{R_2}{\omega N_2}$.

Ainsi dans le cas de la figure le glissement est de 8,3 pour 100 à vide et s'élève à 13 pour 100 en charge.

Le diagramme montre d'autre part que le flux Φ' est suffisant pour déphaser le courant à vide OA, en avant de la tension U_1; il en est ainsi tant que la charge n'atteint pas la valeur correspondant au point A_2 pour lequel $\varphi = 0$ ($\cos\varphi = 1$) et dans cet intervalle le moteur, quoique recevant de l'énergie du réseau, lui fournit par contre une puissance magnétisante $UI \sin\varphi$ par phase. Comme dans le diagramme ordinaire, le couple est mesuré par l'ordonnée du point de fonctionnement : ainsi A_3 correspond au couple maximum.

Il est avantageux, non seulement pour régler éventuellement la chute de vitesse entre la marche à vide et la pleine charge, mais aussi pour améliorer les conditions de compensation en maintenant dans un intervalle plus étendu le cos φ au voisinage de 1, de prévoir un compoundage qui permet encore de relever la valeur du couple maximum et d'augmenter ainsi la capacité de surcharge.

Il suffit pour cela, comme nous l'avons montré, d'adjoindre au transformateur-régulateur un transformateur série qui fait dépendre de la charge l'excitation du moteur à collecteur, dont le flux Φ' devient ainsi

$$\Phi' = \Phi_0 + N' I_1,$$

où Φ_0 ne dépend que de la tension constante du réseau, tandis que le deuxième est proportionnel au courant primaire I_1 et présente avec lui un décalage constant qui résulte du mode de connexion des phases. En substituant cette nouvelle valeur de Φ_1 dans l'équation (4), on obtient

$$\Phi_1 = N_1 I_1 - \frac{j}{\gamma} \frac{R_2}{\omega L_2} L_1 I_1 - \frac{j}{\gamma} \frac{M}{L_2} \frac{n N'}{\omega} I_1 - \frac{j}{\gamma} \left(\frac{M}{L_2} \frac{n\Phi_0}{\omega} - \frac{R_2}{\omega L_2} \Phi_1 \right).$$

D'où

$$I_1 = \frac{\Phi_1 - \frac{1}{\gamma} \left(j \frac{R_2}{\omega L_2} \Phi_1 - j \frac{M}{L_2} \frac{n\Phi_0}{\omega} \right)}{N_1 - \frac{1}{\gamma} \left(j \frac{R_2}{\omega L_2} L_1 + j \frac{M}{L_2} \frac{nN'}{\omega} \right)}.$$

Le diagramme correspondant est celui de la figure 12 qui ne diffère du précédent que par l'introduction du vecteur

$$AA_1 = - \frac{j}{\gamma} \frac{M}{L_2} \frac{nN'}{N_1} I_1,$$

faisant avec OA un angle fixe dépendant de l'argument du coefficient complexe N'; A_1 B est encore perpendiculaire à OA de sorte que le triangle AA_1 B reste semblable à lui-même et l'angle $\widehat{OAB}$ invariable.

En construisant le point E tel que le triangle OAE soit semblable à BAD, on démontre, comme dans le cas précédent, en se basant sur la constance de l'angle $\widehat{OAB}$ que le point E est fixe et que le lieu de A est le segment capable de l'angle OAB, et passant par les points E et D qui correspondent respectivement à $\gamma = 0$ et $\gamma = \infty$.

$$OE = I\ (\gamma = 0) = \frac{\Phi_1 - \frac{nM}{R_2} \Phi_0}{L_1 - M \frac{nN'}{R_2}}, \qquad OD = \frac{\Phi_1}{N_1}.$$

L'échelle du glissement O γ qui mesure à un facteur constant près le rapport AB à OA ou $\frac{AB}{OA} = \frac{AD}{EA}$, fait avec ED un angle égal à OAB : ainsi pour la position A du point de fonctionnement, le glissement est de 20 pour 100 et à vide de 16,6 pour 100.

Le diagramme montre que le déphasage du courant primaire se maintient au voisinage de zéro dans un intervalle de charge très étendu, sans que cependant le courant réactif à vide soit négatif. Ainsi, pour la charge envisagée, le cos φ atteint 0,992 et se maintient au-dessus de cette valeur jusqu'au quart de cette charge ; avec le moteur non compensé au contraire pour lequel le lieu de l'extrémité du vecteur courant est le cercle décrit sur FD comme diamètre avec un rapport des courants à vide et en court-circuit ou coefficient de dispersion

$$\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_1 L_2} = \frac{I_0}{I_{cc}} = \frac{OF}{OD},$$

supposé égal à 6 pour 100, le cos φ maximum est

$$\cos\varphi = \frac{1 - \sigma}{1 + \sigma} = \frac{0,94}{1,06} = 0,886.$$

Digitized by Google

Des deux composantes de AA_1 suivant OA et perpendiculairement, c'est la première AP dans le sens AO qui a cet effet de compensation ; la deuxième PA_1 dans le sens A_1B ajoute au contraire son effet à celui de la résistance ohmique représenté par A_1B pour augmenter la chute de vitesse en charge dans une proportion qui

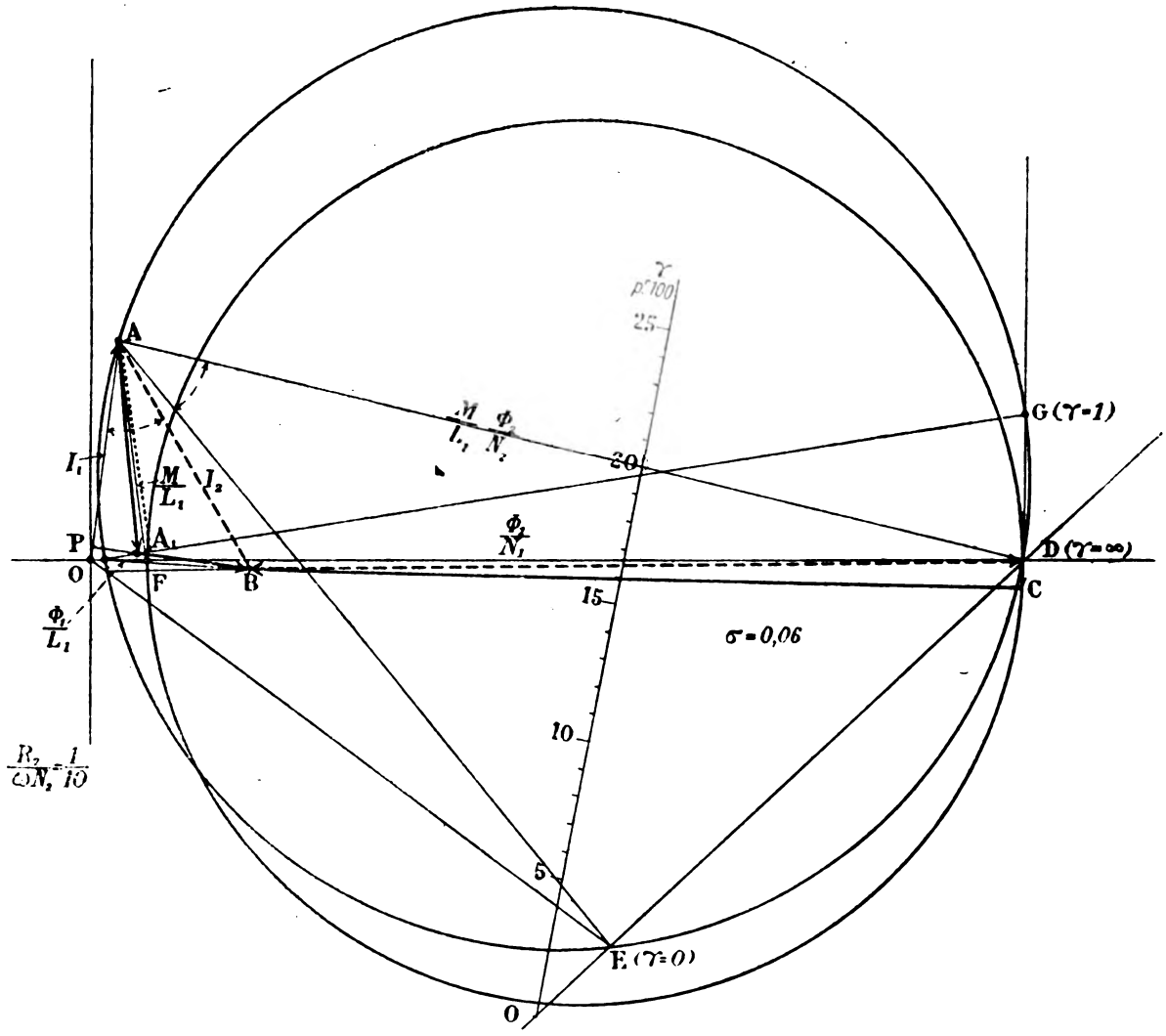


Fig. 12. — Diagramme avec compoundage.

dépend de l'angle OAA_1, c'est-à-dire de la différence de phase représentée par la quantité N'.

Cette augmentation du glissement réalisée d'ailleurs sans perte d'énergie, contrairement à celle qui résulte de l'emploi d'un rhéostat, est avantageuse pour un groupe tampon ou dans la commande des laminoirs lorsqu'il s'agit de faire participer à de brusques variations de charge l'énergie cinétique de volants.

Jusqu'à présent, nous avons laissé de côté l'influence de l'hystérésis et de la résistance primaire R_1. Pour en tenir compte il suffit de remplacer dans les équations que nous avons obtenues les quantités réelles M, L_1, N_1, Φ_1, σ, N_2, etc., par des quantités complexes très voisines et conservant au point de vue du fonctionnement la même signification physique

$$\mathfrak{M} = \frac{\mathfrak{E}_0}{f\omega} = \frac{r_0 + j\omega M}{j\omega} = M - \frac{jr_0}{\omega},$$

$$\mathfrak{L}_1 = \frac{\mathfrak{E}_1}{j\omega} = L_1 - \frac{jR_1}{\omega},$$

$$\mathfrak{N}_1 = N_1 - \frac{jR_1}{\omega}.$$

L'interprétation du terme complémentaire en j représentant l'influence de la conductibilité imparfaite du circuit est particulièrement claire si l'on remplace $\frac{1}{\omega}$ par $\frac{T}{2\pi}$,

Digitized by Google

de sorte que son produit par le courant I_1 est la fraction du flux total dissipé dans la masse du conducteur pendant la période.

En raison de cette dissipation Ψ_1 qui remplace Φ_1 ne représente plus le flux primaire effectif à tout instant, mais toujours $\frac{U_1}{\omega j}$ (1).

Les diagrammes correspondants s'établiraient tout comme ceux dont nous venons d'exposer le détail et il serait facile de les compléter par l'indication de la puissance sur l'arbre, des diverses pertes, etc., comme pour le diagramme classique d'Heyland ; de même les diagrammes relatifs au cas du moteur auxiliaire directement accouplé se déduisent des précédents en multipliant par $1 - \gamma$ la force électromotrice U_2, ce qui modifie seulement un peu l'expression du courant de court-circuit ($\gamma = \infty$).

Mais ce qui précède suffit à mettre en évidence combien la méthode symbolique se prête à traiter les cas les plus compliqués d'une manière simple, et sans faire perdre de vue dans les équations le sens physique des quantités qu'elles relient.

Annexe. — L'application du dispositif décrit dans la note ci-dessus pourrait éventuellement, si la puissance du moteur à collecteur est très élevée, donner lieu à des difficultés de commutation tenant à une valeur excessive de la force électromotrice induite dans les spires en court-circuit sous les balais, bien qu'il soit possible de réduire ses effets par divers artifices tels qu'un sectionnement convenable ou l'emploi de plusieurs voies d'enroulement en parallèle, et bien que l'expérience ait, par exemple pour les compensateurs de phase, fait la preuve d'un fonctionnement satisfaisant dans des conditions analogues.

La solution correspondant au schéma ci-contre (fig. 13) permet d'éviter ces difficultés et apporte en même temps une simplification au cas du groupe séparé.

La machine auxiliaire telle que nous l'avons décrite, n'est prévue (en E sur le schéma) que pour fournir la puissance relativement faible nécessaire à l'excitation du moteur à collecteur compensé A, au moyen d'un enroulement spécial porté par le stator, c'est-à-dire à la fréquence du glissement. Mais tandis que dans le dispositif que nous avons décrit en premier lieu (système Scherbius) cette excitation dépendait du circuit rotorique du moteur principal, ce qui entraînait l'impossibilité de franchir le synchronisme, ici l'excitation séparée

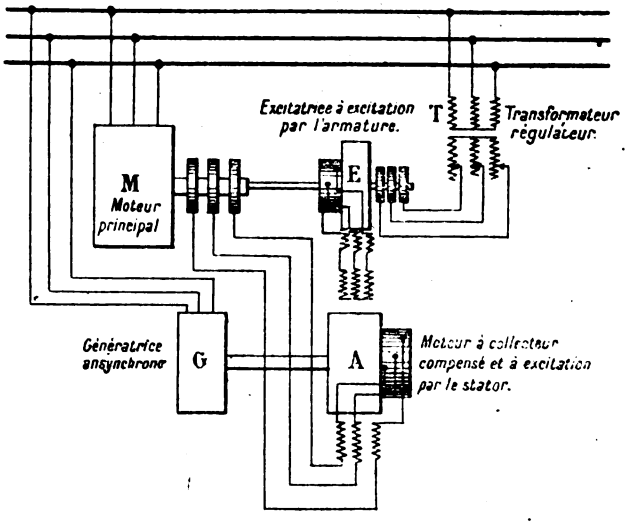


Fig. 13. — Nouveau système de réglage des moteurs d'induction.

et la compensation de la machine E assurent la stabilité à toute vitesse et la faculté de régler en hypo et hypersynchronisme.

La constitution de la machine A peut dès lors n'être plus celle d'une simple machine à champ tournant, mais comporter un champ réduit dans les zones de commutation et même l'adaptation de pôles auxiliaires assurant à tous les régimes de vitesse et de charge une commutation parfaite.

G. Darrieus,
Ingénieur E. C. P.

Les chaudières avec réchauffeurs d'air

Dans les centrales électriques dont la machinerie auxiliaire est commandée par moteurs à vapeur, la vapeur d'échappement de ceux-ci suffit généralement pour porter à près de 100° C la température de l'eau d'alimentation des chaudières. La chaleur contenue dans les gaz chauds s'échappant des foyers des chaudières peut alors être avantageusement utilisée au chauffage de l'air soufflé sous les grilles. L'article ci-dessous donne la description d'une installation de ce genre faite par la Underfeed Stoker Co dans une centrale anglaise de construction récente ; il se termine par une courte description d'un nouveau modèle d'un foyer automatique construit par cette compagnie, modèle dans lequel la grille et les ventilateurs de soufflage sont commandés par un même moteur électrique monté sur le bâti du foyer.

I. — L'économie de combustible devient chaque jour une nécessité plus urgente, spécialement dans les centrales électriques à vapeur.

(1) Ψ_1 intégrale de la force électromotrice est l'impulsion électromotrice et Φ_1 la quantité de mouvement électrocinétique au sens de Faraday et de Maxwell.

La dépense de combustible y représente fréquemment, en effet, les quatre cinquièmes des frais de production et la moitié du prix de revient total, exclusion faite des dépenses pour l'intérêt du capital engagé, des amortissements et des frais de rachat.

Une très faible économie de charbon peut donc se

Digitized by Google

traduire par un gain très élevé à la fin de l'année ; aussi les ingénieurs s'efforcent-ils d'obtenir ce résultat, par tous les moyens en leur pouvoir.

Dans ce but, les appareils auxiliaires ont été progressivement perfectionnés et avec juste raison, car on sait que ces machines auxiliaires consomment de grandes quantités de vapeur.

A bord des navires, des économies importantes ont été réalisées par ces perfectionnements progressifs. L'échappement des pompes à vapeur a été dirigé vers les étages à basse pression des turbines principales, ou encore, dans les réchauffeurs d'eau d'alimentation, afin de récupérer toute la chaleur latente contenue dans la vapeur d'échappement de ces machines.

Dans plusieurs stations génératrices d'électricité, ces pompes sont actionnées par des moteurs électriques, mais dans d'autres stations, plus récentes, on a utilisé pour leur commande de petites turbines à vapeur. Ces dernières consomment naturellement une assez grande quantité de vapeur, mais la chaleur latente de leur vapeur

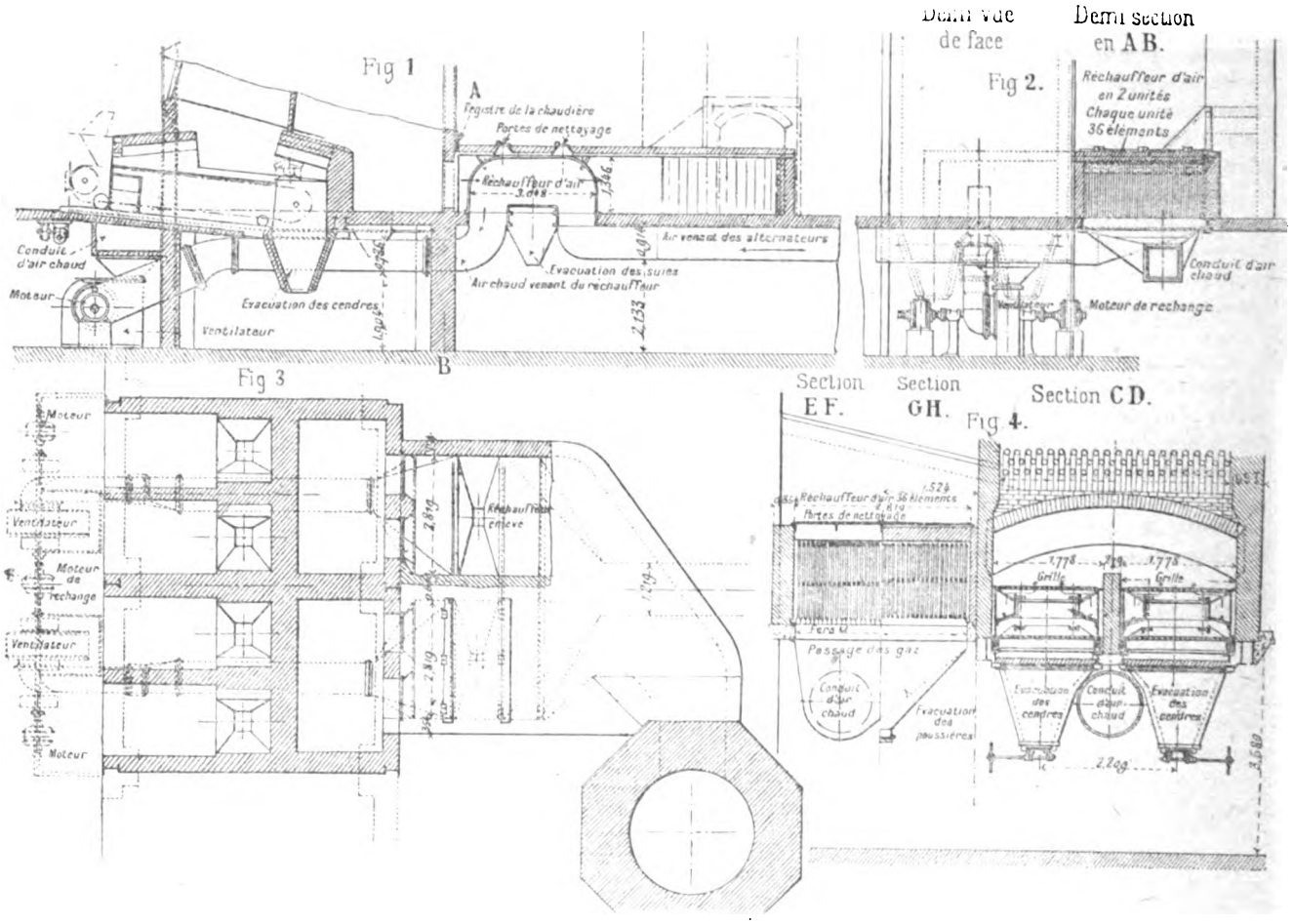


Fig. 1 à 4. — Sections diverses d'un demi-groupe de deux chaudières avec réchauffeurs d'air de l'usine de la Northampton Electric Light and Power Co.

échappement a été récupérée en évacuant cette vapeur dans les réchauffeurs d'eau d'alimentation, laquelle, par ce moyen, se trouve portée à une température de 100° C environ, avant son introduction dans les chaudières.

De vives discussions se sont élevées en Amérique, pour établir s'il était avantageux d'installer un économiseur, réchauffeur d'eau d'alimentation, sur les chaudières, alimentées en eau chaude à 90° C par le moyen indiqué ci-dessus ou de laisser échapper les gaz chauds provenant des chaudières directement dans la cheminée, sans tenter de récupérer une partie de la chaleur contenue dans ces gaz.

La question de savoir si l'installation de tels économiseurs est avantageuse au point de vue financier est plus spécialement une question de prix de combustible par unité de chaleur dégagée ; or, ce prix est actuellement beaucoup plus élevé en Europe qu'en Amérique.

Sur le continent, aussi bien qu'en Amérique, lorsque les appareils auxiliaires évacuent dans un réchauffeur d'eau d'alimentation amenant cette dernière à 90° C, il est certainement avantageux d'utiliser la chaleur des gaz de la combustion au réchauffage de l'air utilisé pour la combustion du charbon, car, dans le cas de l'emploi

Digitized by Google

d'un tel dispositif, non seulement la chaleur habituellement perdue est utilisée, mais encore l'air échauffé à l'avance améliore la combustion du charbon, spécialement si ce dernier est de mauvaise qualité.

De nombreuses recherches ont été faites sur l'efficacité de l'emploi de l'air préalablement chauffé pour l'alimentation des foyers des chaudières à vapeur et, en ces dernières années, MM. James Howden et Cie de Glasgow ont équipé avec ce système plusieurs centaines de chaudières aussi bien à poste fixe sur terre qu'à bord de navires.

Les progrès réalisés par la technique, et aussi les exigences diverses de différentes installations, ont cependant conduit à l'adoption de nouveaux modèles spécialement adaptés aux différentes demandes. A titre d'exemple, nous allons décrire une installation consistant en deux chaudières accouplées, avec grilles automatiques et réchauffeurs d'air installés à la nouvelle station génératrice de la Northampton Electric Light and Power Company, par la Underfeed Stoker Company Limited, de Londres (1).

II. — L'augmentation continuelle et rapide de la demande de puissance électrique dans le district industriel du Northampton a nécessité la construction d'un nouvelle station génératrice beaucoup plus puissante

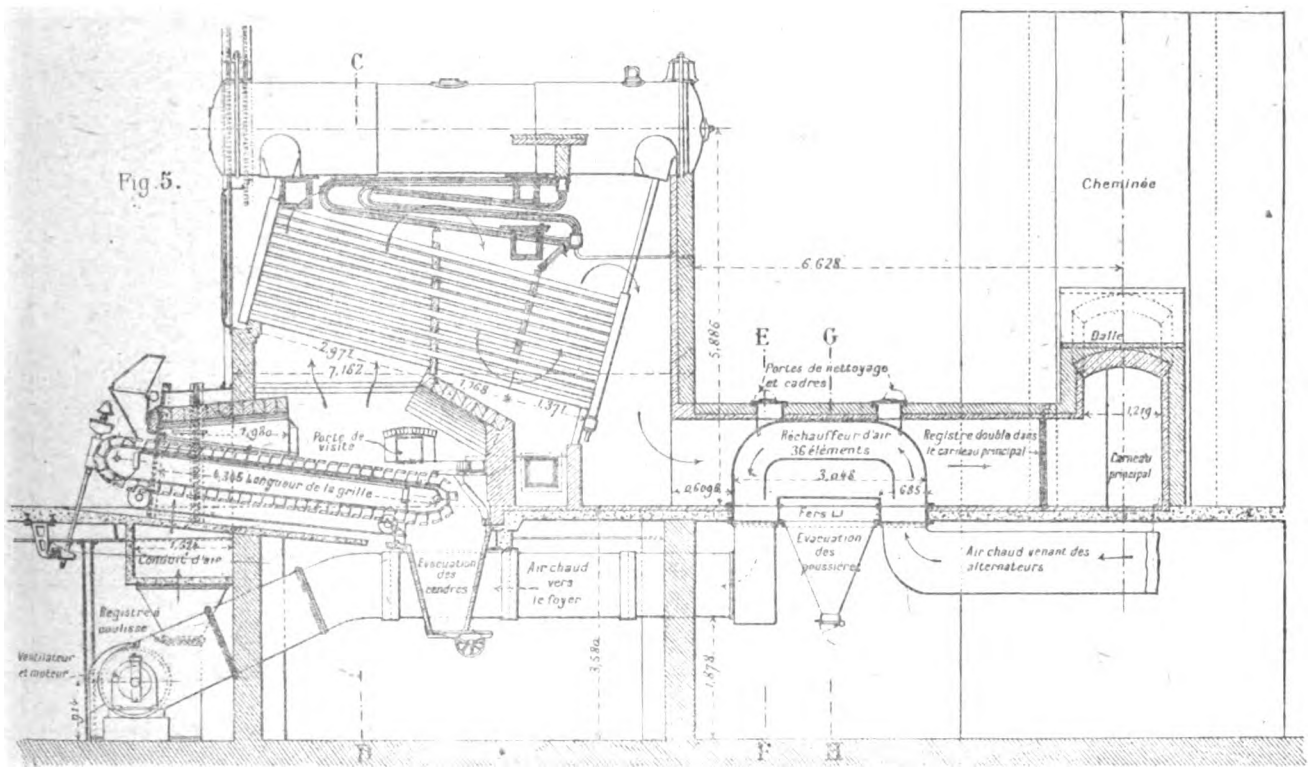


Fig. 5. — Coupe transversale d'une des chaudières.

que celle qu'il aurait été possible d'établir sur le terrain de l'ancienne station. En conséquence, la Compagnie dut acquérir un terrain de trois hectares entre la rivière Neue et la jonction à Hardinghouse du Midland Railway et du London and North-Western Railway.

L'eau nécessaire à la condensation est prise dans la rivière et un raccordement relie l'usine au chemin de fer ; le charbon pourra donc être livré à l'usine par la voie de fer et par la voie d'eau, la rivière étant en communication avec le Grand Junction Canal.

Le nouveau groupe générateur, installé suivant les plans de M. G.-H. Jackson, directeur et ingénieur de la Compagnie, est un turbo-alternateur Thomson-Houston, de 3 000 kw, tournant à 3 000 t : min et fournissant du courant triphasé 6600 v à 50 p : sec ; deux autres petits groupes se trouvant dans cette usine, seront déplacés. Les groupes qui seront installés ultérieurement seront d'une puissance de 5 000 ou 6 000 kw.

En ce qui concerne l'installation des chaudières, on a prévu une cheminée par groupe de quatre générateurs. Les figures 1 à 4 montrent deux de ces derniers qui sont munis chacun d'un réchauffeur d'air.

L'air arrive aux réchauffeurs d'air par une canalisation venant des alternateurs. L'air alimentant les foyers des chaudières passe donc d'abord dans l'alternateur et maintient ce dernier à une température convenable ; il

(1) On sait que cette Société est représentée en France par la Société anonyme des Foyers automatiques de Roubaix, laquelle, depuis l'occupation de cette ville par les Allemands, à transféré ses bureaux à Paris, 31, place Saint-Ferdinand.

Digitized by Google

est ensuite porté à une température relativement haute, en passant à travers le réchauffeur d'air ; un ventilateur l'injecte ensuite sous pression sous les grilles des chaudières.

Dans cette installation, les pompes de circulation et les pompes à air du condenseur sont mues par la vapeur et la vapeur d'échappement est utilisée au réchauffage de l'eau d'alimentation, comme nous l'avons vu précédemment.

La disposition de l'ensemble est nettement visible sur les figures précédentes et la figure 5. Les réchauffeurs d'air sont composés de trente-six éléments entre lesquels les gaz chauds de la combustion s'écoulent de la chaudière aux carneaux des cheminées. L'air déjà échauffé par son passage dans l'alternateur est distribué dans les branches du réchauffeur disposé en forme de U renversé ; chacune de ces branches est en outre divisée par un diaphragme (fig. 4) pour égaliser l'écoulement entre les parties supérieures et inférieures. La longueur totale d'un élément est d'environ 3 m et sa profondeur 1,35 m environ, et la largeur de chaque réchauffeur d'air est de 2,75 m environ.

Au-dessous de chaque réchauffeur d'air est placée une trémie pour recevoir les poussières et suies et à la partie supérieure, des portes de visite pour le nettoyage.

L'air chaud est aspiré à travers chaque réchauffeur par un ventilateur mû électriquement ; pour éviter un arrêt, on a prévu trois moteurs pour deux ventilateurs (fig. 3). L'air s'élève ensuite dans la conduite (fig. 1) et

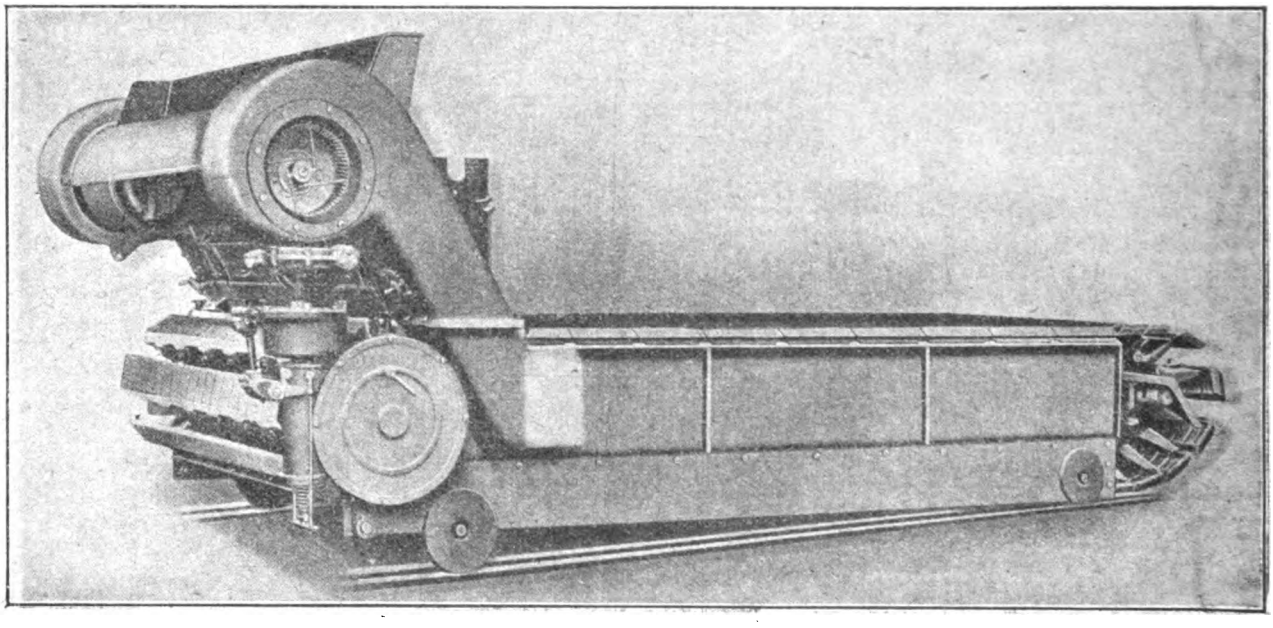


Fig. 6. — Vue d'un foyer automatique Underfeed Stoker avec ventilateurs de soufflage d'air chaud et commandes autonomes.

s'écoule à travers la grille mobile dans le foyer : les gaz résultant de la combustion circulent le long des surfaces de chauffe de la chaudière, ensuite sur les éléments du réchauffeur d'air et s'échappent finalement par la cheminée.

III. — La spécification ci-dessous montrera l'étendue et les conditions à remplir par l'installation :

Chaudières. — Nombre 2. Surface de chauffe de chaque chaudière, non compris le surchauffeur, 500 m² environ.

Production normale de chaque chaudière : 9 500 kg de vapeur à l'heure, l'eau étant prise à 38° C, la pression étant égale à 14 kg : cm² et, la vapeur étant surchauffée à 340° C.

Capacité de surcharge : 12 000 kg de vapeur dans les mêmes conditions d'alimentation et de surchauffe que ci-dessus.

Chauffage mécanique. — Chaque chaudière est équipée avec deux grilles mobiles, à tirage forcé, chacune ayant une surface de 6,70 m² environ.

Ventilateur. — Chaque ventilateur est capable de fournir 637 m³ d'air chaud par minute avec une pression de 76 mm d'eau en absorbant une puissance égale à 20 ch. Pour le fonctionnement normal de la chaudière, 540 m³ d'air par minute sous une pression de 50 mm d'eau sont suffisants ; dans ces conditions, la puissance absorbée par le ventilateur est égale à 13,5 ch.

Rendement garanti. — Pour l'ensemble comprenant les chaudières, les surchauffeurs, réchauffeurs d'air et grilles mécaniques, les rendements sont les suivants :

Rendements à pleine charge, 80 pour 100 ; rendements à 3/4 de charge, 80 pour 100 ; rendements à 25 pour 100 de surcharge, 78 pour 100.

Réchauffeurs d'air. — Surface de chauffe de chaque réchauffeur : 248 m² environ.

Nombre d'éléments par chaudière 36.

Digitized by Google

Relation entre la surface de chauffe du réchauffeur d'air et le poids de charbon brûlé par heure, à charge normale : 0,164 m² pour 1 kg de charbon.

Combustible. — Le combustible brûlé normalement a les qualités suivantes : fines du Midland passées au crible de 10 mm de diamètre.

Pouvoir calorifique : 5 550 calories.

Les fines examinées donnèrent les résultats suivants : 37 pour 100 passaient au crible de 1,6 mm, 25 pour cent passaient au crible de 3,2 mm ; 26 pour cent passaient au crible de 4,8 mm.

Le poids de charbon brûlé par heure et par chaudière était de 1 500 kg à l'allure normale.

Le poids de charbon brûlé par mètre carré de grille a été trouvé égal à 112 kg, à charge normale.

Température. — La température des gaz quittant le réchauffeur d'air pour s'échapper à la cheminée était de 205° C environ.

La température de l'air en sortant du réchauffeur d'air était de 110° C.

Cheminée. — La cheminée a une hauteur de 33,50 m au-dessus du niveau de la grille ; elle est disposée pour recevoir les gaz des chaudières comme il a été indiqué ci-dessus. Son diamètre intérieur est égal à 2,9 m.

On notera en outre que les garanties pour la capacité de production de l'installation sont basées sur une température de l'eau d'alimentation de 38° C. En marche normale, la température de cette eau d'alimentation est voisine de 95° C, après son passage dans le réchauffeur d'eau, et la production de vapeur aussi bien en marche normale qu'en surcharge, augmente avec la température de l'eau à l'entrée de la chaudière.

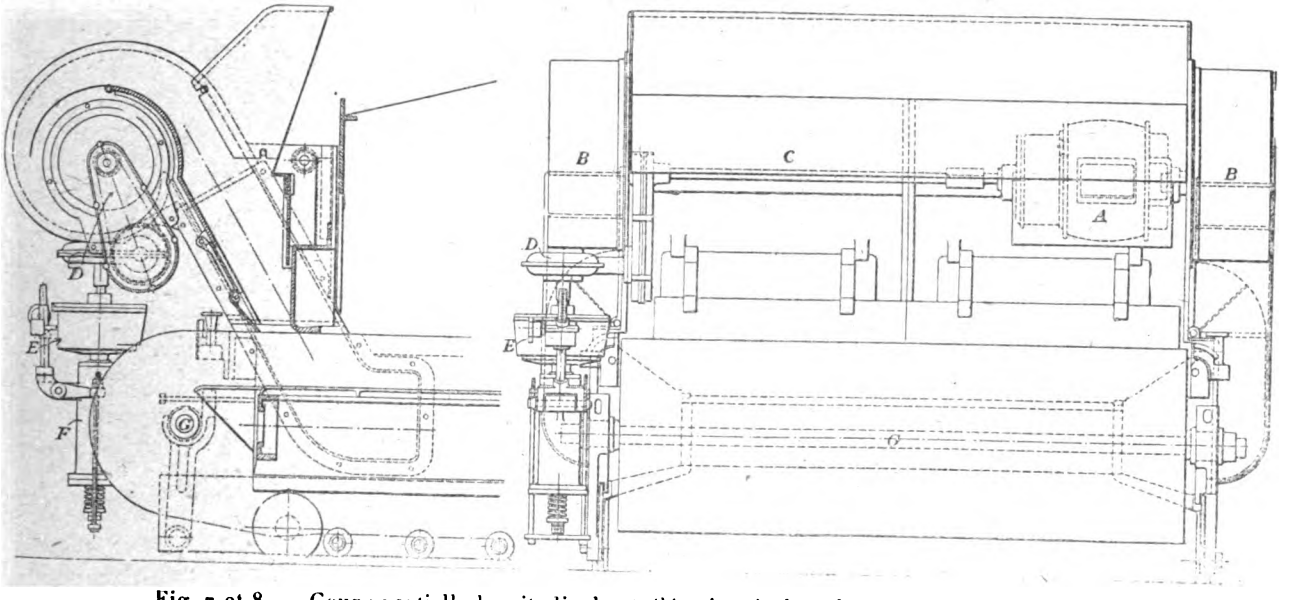


Fig 7 et 8. — Coupe partielle longitudinale et élévation de face du foyer Underfeed Stoker.

IV. — Dans l'installation qui vient d'être décrite, la commande des ventilateurs est indépendante de la commande de la grille. En vue de rendre plus compact l'ensemble de l'installation et aussi de diminuer la consommation de force motrice, la Underfeed Stoker Co a récemment construit un modèle de foyer automatique dans lequel la grille et les ventilateurs sont commandés par le même moteur électrique.

Les figures 6 à 8 donnent une vue et deux coupes de ce nouveau modèle de grille automatique. En A est représenté le moteur électrique qui commande à une vitesse de 950 à 1 050 t : min les deux ventilateurs B montés sur l'arbre C. A l'une des extrémités de celui-ci est monté un pignon entraînant par chaîne silencieuse placée dans un carter D, un arbre horizontal actionnant lui-même un arbre vertical F par l'intermédiaire d'un changement de vitesse enfermé dans l'enveloppe E. Cet arbre F commande à son tour, par l'intermédiaire de l'arbre G, le mouvement de la grille. Grâce au changement de vitesse E, on peut faire varier le nombre de tours par minute de la grille de 1,25 à 10 en huit échelons.

La puissance absorbée par le moteur électrique est d'environ 0,33 pour 100 de la puissance que peut développer la chaudière alimentée avec du charbon ayant un pouvoir calorifique de 6 100 calories par kilogramme.

J. R.

Digitized by Google

Revues, analyses et informations

Procédé et dispositifs pour accroître la sélectivité des circuits électriques (1).

Ces brevets ont pour objet d'accroître la sélectivité des circuits qui sont le siège de vibrations électriques périodiquement variables (en particulier des circuits électriques des installations radiotélégraphiques) en compensant, pour une fréquence privilégiée, les pertes d'énergie dans ces circuits au moyen de « compensateurs de résistance » c'est-à-dire de dispositifs doués de « résistance négative » pour cette fréquence privilégiée.

Ces brevets indiquent deux formes différentes de réalisation de ce principe par l'emploi, comme résistances négatives, soit de moteurs d'induction ou moteurs asynchrones (à phase unique par exemple), soit de lampes à vide à trois électrodes.

Si l'on considère un moteur asynchrone monophasé constitué par un stator fixe alimenté par un courant alternatif de pulsation p ($p = 2\pi f$) et par un rotor mobile tournant à une vitesse angulaire ω, l'enroulement du stator, par son induction mutuelle avec les circuits du rotor, possède une résistance effective déterminée et une réactance effective déterminée. Il est clair que celles-ci peuvent être obtenues expérimentalement dans un pont de Wheatstone utilisant une force électromotrice de la fréquence considérée.

Si l'on se rapporte au diagramme de la figure 1, les abs-

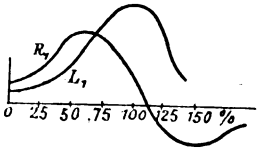


Fig. 1.

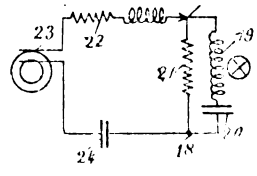


Fig. 2.

cisses représentent le rapport entre la vitesse angulaire électrique ω du rotor d'un moteur d'induction à phase unique et la fréquence-vitesse p de la force électromotrice imprimée sur son enroulement de stator (ce rapport étant multiplié par 100), tandis que les ordonnées des courbes désignées par L_1 et R_1 représentent respectivement l'inductance effective L_1 et la résistance effective R_1. On verra d'après ces courbes que R_1 prend une valeur négative au delà de la vitesse synchrone, c'est-à-dire quand ω devient plus grand que p.

Pour obtenir une courbe de résistance (fig. 1) à pente rapide et élevée de part et d'autre du synchronisme, il est nécessaire d'avoir une masse importante de cuivre dans les circuits du stator et du rotor ; comme dans les résistances R et S est également comprise la résistance effective due à l'hystérésis, et aux pertes par courants de Foucault, il est évident que, ayant sélecté la fréquence qui doit être imprimée aux machines, les noyaux en fer doivent être suffisamment laminés et la densité du flux magnétique doit être maintenue aussi faible que possible, car autrement on n'obtiendrait pas de résistance négative ou l'on obtiendrait une résistance négative trop faible. Les règles à observer à ce sujet sont bien connues et sont employées, par exemple, pour la construction de bobines d'inductance pour charger des circuits de transmission téléphonique.

L'enroulement du stator d'un moteur d'induction à phase unique ayant une résistance négative pour une force électromotrice imprimée d'une fréquence donnée est employé, dans l'invention, dans le but de modifier la résistance effective d'un conducteur quelconque de la même manière qu'on emploie une capacitance ou réactance de capacité dans le but de modifier la réactance d'inductance d'un conducteur.

Lorsque l'enroulement primaire d'un moteur d'induction à phase unique, développant une résistance négative suffisamment grande, est inséré dans un circuit, la résistance de ce circuit peut être abaissée jusqu'à une limite quelconque et, par une construction appropriée, on peut faire en sorte que cette diminution de résistance se produise pour une fréquence donnée et ne se produise pour aucune autre fréquence qui en diffère d'une manière appréciable. La réaction d'inductance du circuit étant neutralisée par une réaction de capacité appropriée convenable, le circuit est rendu résonnant et sélectif à un haut degré, beaucoup plus qu'il n'est possible de l'obtenir par les moyens ordinaires.

La résistance négative de l'enroulement primaire d'un moteur d'induction peut être transférée à un circuit, après avoir été amplifiée jusqu'à toute limite voulue par différentes méthodes, dont l'une est décrite à titre d'exemple ci-après. Si l'on se rapporte au diagramme de la figure 2, soient 17, 18 les bornes de l'enroulement de stator 19 d'un moteur d'induction à phase unique, développant une résistance négative R_1 entre 17 et 18. Supposons que la capacité du condensateur 20 neutralise l'inductance effective L_1 de cet enroulement pour la fréquence considérée. Si l'on insère entre 17 et 18 un conducteur 21 d'une résistance R_2 plus grande que R_1 et d'une inductance zéro, la résistance résultante R entre 17 et 18 sera la suivante :

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Puisque R_1 est négatif, il s'ensuit que, lorsque $(R_1 + R_2)$ est positif et suffisamment petit, R sera négatif et un nombre de fois voulu plus grand que R_1. De cette manière, on peut abaisser jusqu'à une limite voulue quelconque une résistance positive très grande d'un conducteur 17, 22, 23, 24, 18, et l'inductance de ce conducteur étant neutralisée par la capacité d'un condensateur 24, le conducteur peut être rendu résonnant et sélectif à un haut degré par une fréquence-vitesse p et pour aucune autre fréquence.

Non seulement ce conducteur devient résonnant et sélectif à un haut degré malgré sa grande résistance réelle, mais la force électromotrice imprimée sur le conducteur par l'alternateur 23 est transformée à une valeur beaucoup plus grande dans l'enroulement de stator 19. Soit V l'amplitude de la force électromotrice imprimée sur le conducteur 17, 22, 23, 24, 18, sa résistance effective étant r, le courant dans ce conducteur étant désigné par a,

$$a = \frac{V}{r} = V_1 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

(1) M.-I. Pupin et E.-H. Armstrong. *Brevet français* n° 485 533 du 12 septembre 1916 et *Brevet français* n° 20 429 du 22 mai 1917.

Digitized by Google

formule dans laquelle V_1 est la différence de potentiel entre 17 et 18

$$\frac{V}{V_1} = \frac{r(R_1 + R_2)}{R_1 R_2} = \frac{r}{R'}$$

En donnant à r une faible valeur et à R une grande valeur, il est évident que V_1 est plusieurs fois plus grand que V. En d'autres mots la réaction de résistance négative, pour la fréquence sélectée, devient un grand nombre de fois plus grande que la réaction de résistance positive primitive du conducteur. Cette amplification de la force électromotrice faible imprimée présente une grande valeur en télégraphie, en particulier en télégraphie sans fil, et mérite quelques explications.

Si l'on se rapporte à la figure 3, 25 et 26 est une antenne de télégraphie sans fil mise en contact avec la terre en 26, et dans

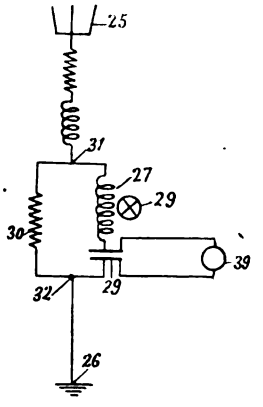


Fig. 3.

laquelle est inséré un compensateur de résistance 27, 28, du type décrit plus haut. 27 désigne l'enroulement primaire ou enroulement de stator développant une résistance négative R_1 et une inductance L_1 qui, pour la fréquence reçue, est neutralisée par la réaction de capacité du condensateur 29. Comme représenté, il y a, en parallèle avec 27, un conducteur 30, d'une résistance R_2. Le moteur d'induction insère par suite dans l'antenne une résistance R qui est donnée par la formule

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Par suite, si l'on suppose

$$R_2 = 1\,000 \text{ ohms}, \qquad R_1 = -900 \text{ ohms},$$

on aura $$R = \frac{1\,000 \times 900}{100} = 9\,000 \text{ ohms}.$$

L'antenne peut, par suite, être chargée avec une résistance positive de 9 100 ohms et avoir une résistance effective $r = 100$ ohms seulement pour la fréquence considérée. Une telle antenne est pratiquement insensible pour d'autres fréquences et disperse à un haut degré l'énergie reçue par les décharges atmosphériques, auxquelles elle oppose au moins une résistance de 9 100 ohms. Il est admis par tout homme du métier que le problème le plus important en télégraphie sans fil consiste à éviter l'interférence de telles décharges atmosphériques avec la réception de signaux. Ces décharges sont des impulsions habituellement de courte durée communiquant de l'énergie électromagnétique à l'antenne, ce qui fait naître dans celle-ci des oscillations électriques de fréquences naturelles. Une résistance suffisamment grande, introduite dans l'antenne de manière à en faire un conducteur fortement insensible pour toutes fréquences de quelque importance en télégraphie sans fil et, en particulier, pour les impulsions électriques produites par l'atmosphère, réduirait fortement la quantité d'énergie que ces impulsions pourraient transmettre à l'antenne et réduirait également à un haut point la fraction de cette énergie reçue que l'antenne pourrait transmettre aux dispositifs translateurs de la station réceptrice. Mais l'introduction de cette résistance affaiblirait également l'action sur l'antenne des ondes qu'on désire recevoir. Le procédé décrit ici tourne cette difficulté en fournissant une résistance négative de manière à réduire, à une faible limite quelconque voulue, la résistance positive considérable de l'antenne, pour la fréquence à recevoir. Il offre, par suite, un moyen de résoudre complètement les problèmes posés ci-dessus et cela d'une manière qui peut être décrite en quelques mots comme suit : rendre l'antenne aussi insensible que possible et ensuite corriger ses défauts par sélection au moyen du compensateur de résistance.

Il est évident que le procédé de syntonisation décrit ci-dessus fournit un moyen excellent pour recevoir sélectivement, sur le même conducteur simultanément, différentes fréquences, c'est-à-dire de réaliser ainsi l'ancienne idée de signalisation multiple par syntonisation électrique qui a été déjà proposée à plusieurs reprises, mais qui n'a jamais eu en pratique un succès appréciable. L'ancien procédé de syntonisation consistant à neutraliser la réaction d'inductance par la réaction de capacité n'arrive pas au résultat voulu parce qu'il ne permet pas au circuit récepteur local d'utiliser plus d'énergie qu'il n'en reçoit de la station transmettrice, tandis que le procédé de syntonisation décrit ici permet de fournir plusieurs milliers de fois cette énergie et tire celle-ci de la source d'énergie à la station réceptrice.

La téléphonie sans fil à grande distance a été reconnue impraticable, jusqu'à présent, par suite des variations excessivement faibles de la faible quantité d'énergie atteignant l'antenne de la station réceptrice. Le compensateur de résistance décrit ici permet d'amplifier l'énergie reçue et, par conséquent, aussi ses variations en les multipliant plusieurs milliers de fois et, par suite, il permettra d'étendre notablement les distances auxquelles la téléphonie sans fil peut être pratiquée suivant l'une quelconque des méthodes actuellement en usage.

Pour obtenir un effet de résistance négative on peut utiliser, au lieu de moteurs d'induction, des lampes à vide à trois électrodes, constituées par une ampoule vidée soigneusement, à l'intérieur de laquelle on a disposé un filament

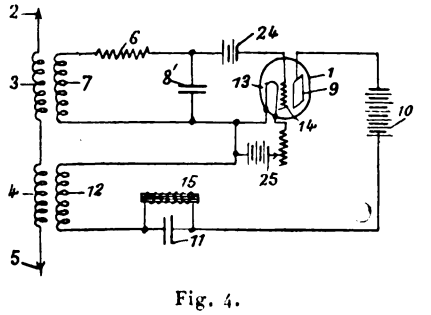


Fig. 4.

porté à l'incandescence par un courant électrique dû à une source extérieure, une plaque portée à un potentiel positif élevé par rapport au filament et une troisième électrode appelée grille et intercalée entre le filament et la plaque.

Dans le montage de la figure 4 par exemple, grâce à une

Digitized by Google

lampe (13, 14, 9) de ce genre, un effet de résistance négative est obtenu dans le conducteur principal 2, 5 de la manière suivante :

Un courant dans le conducteur principal 2, 3, 4, 5 induit dans le circuit 6, 7, 8 une force électromotrice qui charge le condensateur 8 et l'électrode à grille 14. Cette dernière produit alors une variation dans l'amplitude du courant continu passant à travers le circuit 10, 15, 12, 13, 9. Cette variation de courant induit alors une force électromotrice dans le conducteur principal 2, 3, 4, 5. Le rapport de phase entre le courant dans le conducteur principal et cette force électromotrice détermine les réactions qui sont produites dans le conducteur principal. Si la force électromotrice ainsi produite dans le conducteur principal présente une phase telle que l'une de ses deux composantes se trouve dans la même phase avec le courant dans le conducteur principal, il apparaît alors une réaction de résistance négative résultante entre 2 et 5, lorsque cette composante de force électromotrice est plus grande que la réaction de résistance positive effective des enroulements 3 et 4. La valeur de cette réaction de résistance négative dépend uniquement de l'amplitude de variation de courant produite par l'action de l'électrode à grille 14 et de l'induction mutuelle entre le circuit principal et les circuits secondaires. On découvre la loi

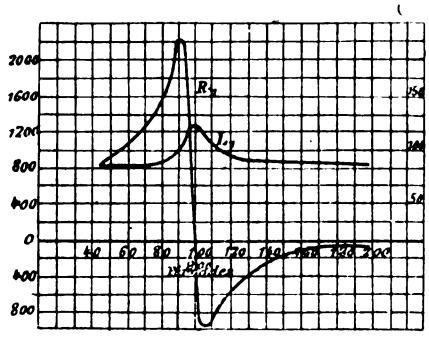


Fig. 5 a.

suivant laquelle on peut faire varier la réaction de résistance négative et lui donner une limite déterminée quelconque en connectant les bornes 2,5 du conducteur principal, comme représenté à la figure 4, dans un bras d'un pont de

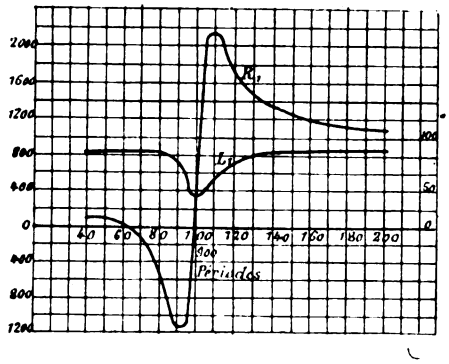


Fig. 5 b.

Wheatstone employant une force électromotrice de fréquence et d'intensité convenables. Les courbes représentées aux figures 5 a et 5 b donnent les résultats d'une étude de ce genre. Dans ces figures, les ordonnées de la courbe R_1 représentent la résistance effective, et les ordonnées de courbe L_1 l'inductance effective, entre les bornes 2,5 pour différentes fréquences ; les abscisses représentent le rapport de synchronisme entre la fréquence naturelle du circuit d'excitation et la fréquence de la force électromotrice imprimée, la résistance et l'inductance effectives sont données respectivement en ohms et en henrys. On verra que ces courbes sont, dans leurs caractéristiques principales, similaires à celles obtenues avec le compensateur à moteur d'induction décrit plus haut.

Pour appliquer cette réaction de résistance négative à la compensation de la réaction de résistance d'un conducteur électrique, on procède de la manière indiquée à la figure 6.

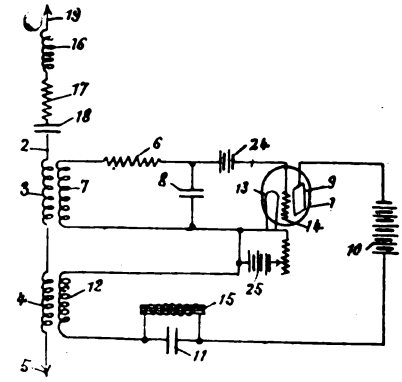


Fig. 6.

Dans cette figure 6, le conducteur 16, 17, 18 contenant une résistance, une inductance et une capacité, doit être syntonisé à la fréquence d'une force électromotrice harmonique simple imprimée. Le conducteur principal 2, 3, 4, 5 du compensateur de résistance est connecté en série avec le conducteur 16, 17, 18 et le circuit 6, 7, 8 est réglé de manière à produire une résistance négative entre les points 2, 5, à la fréquence pour laquelle le conducteur 19, 5 doit être rendu sélectif. La valeur de la résistance négative entre 2 et 5 est réglée de manière à être légèrement inférieure à la résistance positive du conducteur 19, 2, de sorte que la résistance effective résultante du conducteur 19, 5 soit considérablement réduite pour la fréquence désirée. On peut faire varier la résistance négative en réglant le couplage entre 4 et 12, ou entre 3 et 7, ou en faisant varier la puissance de la soupape de manière à modifier le courant continu local, ou en faisant varier la valeur de la résistance 6. Comme la principale fonction de la résistance 6 consiste à contrôler l'inclinaison des courbes de résistance R_1 aux figures 5 a et 5 b dans le voisinage de leurs maxima négatifs et, par suite, à faire varier la précision de syntonisation du dispositif, il est préférable de faire varier l'un des couplages pour obtenir la variation voulue pour la résistance négative. La réactance du conducteur principal est réglée à zéro pour la même fréquence au moyen de l'inductance 16 ou du condensateur 18.

Pour la fréquence exacte voulue, le conducteur 19, 5 a, par suite, une réactance zéro et une résistance effective qui n'est qu'une faible fraction de la résistance ajoutée, mais pour toutes autres fréquences, la résistance et la réactance sont toutes deux relativement considérables. La quantité de résistance positive qu'on peut ajouter de cette manière est

Digitized by Google

limitée par la capacité du compensateur de résistance et n'est limitée par rien d'autre.

Cette disposition conduit elle-même à l'amplification de la réaction de résistance au moyen d'un shunt ou par toute autre manière de transformation de potentiel, de la même façon que le fait le dispositif décrit ci-dessus. Ceci peut être réalisé par la disposition représentée schématiquement à la figure 7. Dans cette disposition qui est la contrepartie

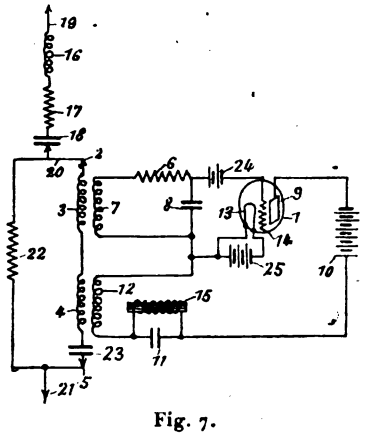


Fig. 7.

de celle de la figure 3, un shunt non-inducteur 22 est disposé à travers le conducteur dans lequel est produite la résistance négative. Ce conducteur comporte un condensateur en série 23, permettant de régler la réactance effective du conducteur. Lorsqu'on rend la résistance positive du shunt légèrement supérieure à la résistance négative shuntée, on obtient une amplification considérable de la résistance négative primitive de la manière expliquée plus haut: Un shunt de 1 200 ohms, placé à travers le conducteur présentant la caractéristique de la figure 5 a, produit une amplification de plus de 6 fois. Les courbes caractéristiques de résistance et de réactance sont représentées à la figure 8. Pour appliquer le dispositif de soupape shuntée dans le but de compenser la réaction de résistance d'un conducteur, on connecte le conducteur 20, 21 en série avec le conducteur 16, 17, 18 comme représenté à la figure 7. Les réglages de

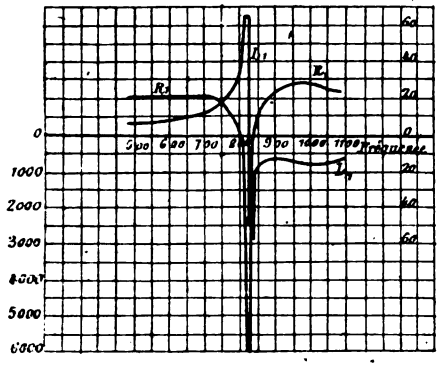


Fig. 8.

résistance et de réactance du conducteur principal se font de la manière précédemment décrite pour le compensateur de résistance simple.

Une autre méthode pour produire une résistance négative considérable consiste dans l'emploi d'un compensateur de résistance comportant plusieurs éléments en cascade, comme représenté à la figure 9. Dans celle-ci, il n'a été représenté que deux éléments, mais on peut utiliser un nombre quelconque d'éléments pour produire une valeur quelconque voulue de la réaction de résistance négative dans le conducteur principal, à condition d'avoir soin de

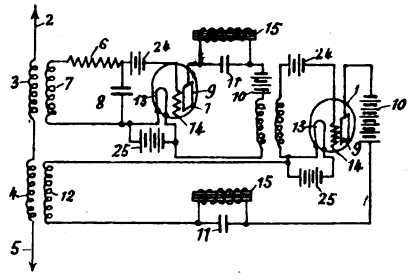


Fig. 9.

régler convenablement la phase de la réaction d'inductance mutuelle entre le circuit d'énergisation et le conducteur principal. Les caractéristiques de la disposition particulière de la figure 9 sont représentées par les courbes de la figure 10, dans laquelle les ordonnées et les abscisses sont les mêmes que celles des figures 5 a et 5 b.

Quel que soit le type de compensateur de résistance employé, la disposition permettant de produire une résistance négative sera, de préférence, telle que la pleine valeur

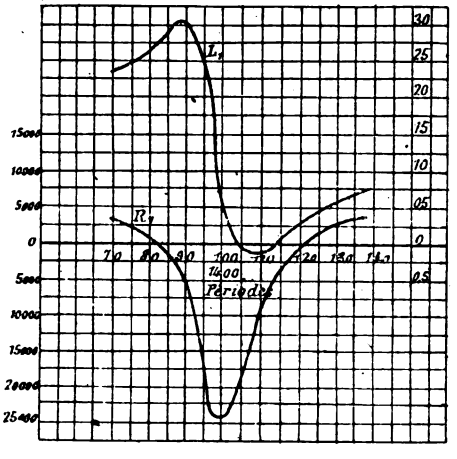


Fig. 10.

de la résistance négative ne puisse être produite instantanément; c'est-à-dire qu'il doit se passer de préférence un certain intervalle de temps après l'arrivée de l'impulsion initiale d'un train d'ondes, avant que l'état électrique passager devienne l'état stationnaire pour lequel s'établit la résistance négative de valeur maximum. De sorte que des impulsions imprimées sur ce conducteur récepteur qui durent un temps plus court que le temps nécessaire à leur transmission à la source locale d'énergie ne seront pas aidées par cette source d'énergie. En d'autres mots, l'action mutuelle entre la source locale d'énergie et le conducteur récepteur n'est pas instantanée et, par suite, la source locale d'énergie ne sera pas excitée de manière à aider une impulsion électrique d'une durée plus faible qu'un intervalle minimum déterminé de temps.

Pour obtenir ce résultat il suffit d'introduire dans le circuit récepteur entre le récepteur et son compensateur de

Digitized by Google

résistance un élément additionnel. Cet élément additionnel est, par exemple, un dispositif conducteur d'ondes — la ligne artificielle bien connue — représenté par la figure 6 et consistant en un nombre convenable d'inductances de préférence égales et de condensateurs qui sont, de même, de préférence égaux. Lorsqu'une impulsion électrique est imprimée sur l'antenne, elle se communique, comme il est connu, au circuit d'excitation du compensateur de résistance 6, 7, 8, par l'inductance mutuelle 4, 12. Cette action sera transmise de 12 au circuit d'énergisation locale par delà la ligne artificielle et sa durée de transmission est déterminée par l'inductance, la capacité et la résistance totales de la ligne. Soient L, C et R l'inductance, la capacité et la résistance totales de la ligne artificielle, la durée de transmission t_1 sera approximativement :

si $t_1 = 10^{-3}\sqrt{LC}$ secondes,

$L = 6 \times 10^{-2}$ henrys,

$C = 12 \times 10^{-2}$ microfarads,

on a $t_1 = 8{,}4 \times 10^{-5}$ secondes.

Si alors la durée d'action de l'impulsion sur l'antenne et de l'opération de décharge de l'énergie déposée par cette impulsion sur l'antenne est moindre que $8{,}4 \times 10^{-5}$ sec, la source locale d'énergie ne peut pas venir en aide à l'impulsion ou à l'opération consécutive de décharge de l'énergie déposée par celle-ci. Il est évident que toute l'impulsion fera naître dans la ligne artificielle des oscillations libres, dont la durée, dans l'exemple donné, peut dépasser $8{,}4 \times 10^{-5}$ sec, quoique leur amplitude soit notablement réduite par la résistance considérable non compensée de l'antenne. On peut toujours régler ces oscillations de manière que leurs fréquences soient très différentes de la fréquence de signalisation pour laquelle le compensateur de résistance est réglé sélectivement. Dans l'exemple donné ci-dessus, la période naturelle la plus élevée sera inférieure à 23 000 p : sec si la ligne consiste en 6 sections égales, et des oscillations de cette fréquence ne sont pas aidées par un compensateur de résistance sélectif pour une fréquence de 25 p : sec.

Il est évident que la disposition décrite ci-dessus, en raison de ses réactions différentes pour des ondes de même fréquence mais de durée différente, peut exclure du système récepteur même les impulsions perturbatrices ou composantes d'impulsion présentant la même fréquence de signalisation, mais de plus courte durée que le signal.

Relèvement du prix de vente de l'Electricité à Pau.

Comme suite aux informations déjà publiées ici sur ce sujet [1], nous reproduisons ci-dessous une délibération prise par le Conseil municipal de Pau :

« Vu les demandes de la Compagnie générale du Gaz pour la France et l'étranger et de la Société électrique des Pyrénées, tendant à obtenir un relèvement des prix du gaz et de l'éclairage électrique ;

» Considérant qu'après la jurisprudence administrative qui applique la théorie de l'imprévision aux contrats de concession de services publics avec toutes les conséquences qu'elle comporte, une loi du 21 janvier 1918 est venue édicter des dispositions exceptionnelles pour les marchés et contrats d'ordre exclusivement privé conclus avant le 1er août 1914, lorsqu'il est établi qu'à raison de l'état de guerre, l'exécution des obligations de l'un des contractants entraîne des charges ou lui cause un préjudice dont l'importance dépasse de beaucoup les prévisions qui pouvaient être raisonnablement faites à l'époque de la convention :

» Considérant qu'outre l'augmentation constante de la main-d'œuvre, des frais généraux et des dépenses d'entretien, la Compagnie du gaz livre à la Société électrique des Pyrénées la plus grande partie de sa production du coke ;

» Que la cession de ce combustible destiné à remplacer le charbon que l'Etat ne peut mettre à la disposition du Service électrique, prive la Compagnie du Gaz d'un revenu important, en raison de la différence de valeur du charbon et du coke ;

» Considérant que, si la Compagnie générale du Gaz est tenue d'assurer la continuité du Service public qui lui a été concédé, la Ville doit la dédommager d'une partie des charges exceptionnelles qu'elle a dû subir depuis le début de la guerre ; qu'il est équitable de faire supporter cette participation tant à la fourniture du gaz qu'à celle de l'éclairage électrique ;

» Le Conseil autorise M. le maire à signer la convention suivante :

» Entre la Ville de Pau d'une part ;

» La Compagnie générale du Gaz pour la France et l'étranger et la Société électrique des Pyrénées d'autre part ;

» Il a été convenu ce qui suit :

» Il est apporté temporairement aux clauses des conventions relatives aux prix de vente du gaz et de l'éclairage électrique passées entre la Compagnie générale du Gaz, la Société électrique des Pyrénées et la Ville de Pau, des modifications conformes aux termes du présent avenant :

» Article premier, — Le prix de vente de la totalité du gaz consommé par les particuliers et les bâtiments communaux, sera augmenté temporairement et porté à trente et un centimes (0,31 fr) le mètre cube pour les particuliers et à vingt et un centimes (0,21 fr) le mètre cube pour les bâtiments communaux.

» Le prix de vente de l'éclairage électrique est également augmenté temporairement et porté à six centimes et demi (0,065 fr) l'hectowatt-heure pour les particuliers et à quatre centimes et demi (0,045 fr) l'hectowatt-heure pour tous les bâtiments communaux.

» Le gaz et l'électricité consommmés pour l'éclairage public de ville ne subiront pas d'augmentation.

» Ces prix de vente du gaz et de l'éclairage électrique seront appliqués tant que le prix de revient des charbons emmagasinés à l'Usine à gaz sera égal ou supérieur à soixante francs la tonne (60 fr).

» Ces augmentations prendront date, tant pour le gaz que pour l'électricité, avec la consommation qui correspondra aux relevés des compteurs faits entre les 6 et 31 août 1918.

» Art. 2. — La Compagnie générale du Gaz fournira, chaque mois, à la Municipalité la copie de l'état indiquant le prix de revient du charbon emmagasiné à l'Usine à gaz. Tous renseignements utiles, pour que la Municipalité puisse contrôler ce prix de revient, seront tenus à la disposition de cette dernière par la Compagnie du Gaz et la Société électrique.

» Art. 3. — Il n'est apporté aux conventions en vigueur d'autres novations ou dérogations que celles résultant de présentes.

» Art. 4. — Les frais de timbre et d'enregistrement du présent avenant seront à la charge de la Compagnie générale du Gaz et de la Société électrique. »

[1] *Revue générale de l'Electricité*, 10 février et 21 avril 1917, t. I, p. 231 et 639 ; 19 janvier 1918, t. III, p. 111.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Revues, analyses et informations

Le travail américain pendant la guerre.

Les nombreuses études qui ont été publiées sur les méthodes d'organisation scientifique du travail ont, du fait que la mise en pratique de ces méthodes s'est surtout développée aux Etats-Unis, appelé l'attention des industriels français sur les relations qui existent en ce pays entre employeurs et salariés (1) ; mais il a été jusqu'ici publié peu de chose sur la mentalité ouvrière de la grande république transatlantique.

Notre confrère « l'Ecole et la Vie », qui s'est donné comme tâche de contribuer à la renaissance économique de la France en établissant entre les éducateurs de la jeunesse et le grand public des liens permettant aux premiers de suivre le développement économique et social de la vie commerciale et industrielle, à l'autre de faire connaître son opinion sur les modifications que ce développement impose à notre enseignement (2), vient de combler en partie cette lacune en publiant un intéressant article (3) sur les sentiments qui animaient les ouvriers américains pendant la dernière période de la guerre et qui ont permis à nos alliés de la dernière heure d'accomplir le prodigieux effort industriel qui nous a valu la victoire Ne pouvant analyser cet article sans risquer de lui retirer la majeure partie de son intérêt, nous prenons la liberté de le reproduire in extenso ci-dessous, convaincus que, après sa lecture, les lecteurs de la « R. G. E. » ne nous en voudront pas de les avoir entraînés quelque peu en dehors du domaine de l'électricité.

I. L'immense réservoir d'hommes, où l'Amérique pouvait puiser pour le recrutement à la fois de son armée et de ses industries de guerre, lui a permis dès le début de laisser presque tous les ouvriers à l'usine et d'obtenir par une parfaite distribution des tâches, un maximum de rendement. Mais au génie d'organisation des chefs d'industrie, enrôlés volontaires à Washington, devait répondre la bonne volonté des travailleurs. Il y eut quelques flottements au début ; mais dès que les ouvriers eurent compris que les patrons et le gouvernement — qui était, dans la circonstance, le surpatron des employeurs — étaient disposés à assurer aux travailleurs les meilleures conditions matérielles, morales et sociales, non seulement qu'exigeait la justice, mais que suggérait la sollicitude, ils se donnèrent à leur tâche avec un entrain, une émulation, un dévouement qui font honneur à leur raison et à leur patriotisme. Le chapitre du « travail américain » pendant la guerre est un des plus instructifs et des plus émouvants que l'histoire enregistrera. Il inaugure une ère nouvelle dans l'état social de l'Amérique et laissera des traces profondes dans l'avenir du pays.

Il y eut quelques flottements, dis-je, au début. Les ouvriers américains ne forment pas un corps homogène. Ils se recrutent en grande partie parmi les immigrants de date récente, Polonais, Lithuaniens, Ruthènes, Juifs russes, Scandinaves, Irlandais, et, naturellement, Allemands d'Allemagne ou d'Autriche. Ces derniers, de leur propre mouvement et à l'instigation du service, largement doté, de l'espionnage boche, cherchèrent d'abord à entraver par tous les moyens la production, qui, ils le sentaient bien, allait constituer un des facteurs les plus importants de la victoire. Il y eut des incendies, dont on ne pouvait découvrir les causes, des explosions, des sabotages. La justice dut intervenir. Une loi, dite d'espionnage, s'appliquant à la fois aux hommes et aux femmes, permit d'opérer un triage parmi les ouvriers. Même parmi ceux que ni des agissements suspects, ni des sentiments imprudemment exprimés ne désignaient pour l'exclusion des chantiers, il restait des ennemis secrets et sournois de la cause alliée. Ils excitèrent les ouvriers à des revendications intransigeantes : il y eut des grèves...

Ce qui est remarquable, c'est que le loyalisme des ouvriers patriotes eut vite raison de ces éléments de trouble et de désordre et que, du sein même des organisations ouvrières, s'élevèrent des protestations et vinrent des mesures qui rétablirent l'ordre dans les chantiers. En septembre 1917, une grève éclata dans les chantiers de navires appartenant à des armateurs privés à New-York. Les ouvriers des constructions maritimes de l'Etat refusèrent d'entrer dans le mouvement. Non seulement ils donnèrent l'exemple de la discipline et du dévouement patriotique, mais par une déclaration publique (qui, en Amérique, n'est pas une vaine démonstration), ils s'engagèrent à faire eux-mêmes la police dans les chantiers et à pourchasser les « défaitistes ». « Nous promettons de notifier aux autorités tout signe d'attitude antipatriotique dans les chantiers du gouvernement... » C'est aller loin, penseront les Français, habitués à pratiquer l'esprit de corps, jusqu'à tolérer à côté d'eux des paroles ou des actes contraires au bien de la collectivité ou même à la sûreté de l'État. Mais les Américains de toutes les classes ont une autre tournure d'esprit, qui est celle d'obéir d'abord à la conscience nationale avant de céder au sentiment personnel ou à l'esprit de groupe. Aussi bien, c'est une qualité qui, si elle a ses origines dans la moralité de la race anglo-saxonne, a été renforcée par les conditions mêmes de la vie nationale américaine. Comment ce peuple formerait-il une « unité nationale », s'il ne sentait intuitivement la nécessité de plier les millions d'étrangers, qui lui arrivent en flot continu, au respect de leur pays d'adoption, à la discipline civique et au patriotisme américain ? L'accueil même que

(1) Un article sur ce sujet a été publié dans ces colonnes : Le Travail et le Capital aux États-Unis ; *R. G. E.*, 11 mai 1918, t. III, p. 705-707.

(2) Journal hebdomadaire édité par la librairie Armand Colin, sous la direction de M. Paul Crouzet, inspecteur de l'Académie de Paris.

(3) C. Cestre. Le travail américain pendant la guerre : *L'Ecole et la Vie*, 11 janvier 1919, 2e année, n° 17, p. 251-253.

Digitized by Google

l'on fait aux étrangers suppose de la part de tous les « vieux Américains » une entente tacite et la volonté, en quelque sorte, instinctive, d'assimiler les allogènes par l'effort de tous. Les institutions et les écoles sont insuffisantes pour cette tâche immense : chaque classe, chaque groupe, chaque individu se sent la responsabilité « d'américaniser » les nouveaux venus. C'est une des sources vivantes du patriotisme américain. La fierté de leur pays, puissant, libre, immense, prospère, est un autre facteur de patriotisme ardent. Un habitant de l'Amérique qui se montre incapable d'éprouver cette fierté et de comprendre la beauté et la grandeur des institutions républicaines, est une manière de sacrilège. S'il affiche son hétérogénéité, il peut lui en cuire. En temps de crise, lorsque les sentiments sont tendus, le patriotisme devient un instinct collectif de conservation. L'ouvrier américain, qui n'avait aucun préjugé contre l'Allemand, a appris à découvrir la malignité du Boche et a manifesté qu'il ne tolérerait pas d'être insulté, ni trahi par lui. Les grèves suscitées par les socialistes (qui étaient presque tous étrangers, et la plupart allemands) ou par les anarchistes internationalistes (I. W. W.), n'ont pas eu de succès.

II. — Cela, c'est la part négative, et la moindre, que l'ouvrier américain a prise à la défense nationale. La collaboration positive est autrement importante et méritoire. Il s'est montré digne citoyen de la nation qui, entre toutes, est celle de l'énergie et de la volonté. Sans doute, on lui a assuré de hauts salaires; on a reconnu ses droits à former des associations et à faire agir ces associations comme mandataires dans les contrats avec le patronat; on a pourvu à son bien-être matériel et on a, intelligemment et libéralement, développé les institutions qui tendent à favoriser son développement intellectuel, sa dignité morale, son indépendance et sa personnalité. Mais il dépendait de lui que le travail fourni augmentât dans de telles proportions que l'Amérique, en un an, pût rattraper le niveau de la production maritime, industrielle, agricole des nations alliées, et le dépasser. L'ouvrier américain a répondu à l'appel du pays et décuplé son effort. Grâce à son empressement à apprendre des techniques nouvelles, à endurer, à peiner et à produire, le génie d'organisation des grands chefs d'industrie a pu donner tous ses fruits.

Prenons le cas particulièrement frappant des constructions maritimes. Les États-Unis n'étaient pas un des grands pays producteurs de navires. Pendant les deux premières années de la guerre, ils avaient reçu des commandes importante des Alliés et avaient commencé à développer leurs chantiers, mais malgré l'attrait de bénéfices importants, le maximum de production auquel ils étaient arrivés en 1916 n'était que de 800 000 t par an. En 1917, en présence des destructions sans cesse croissantes du tonnage allié par les sous-marins et sous la nécessité de transporter en Europe dans le temps le plus court une armée considérable, un matériel immense et des provisions en quantité sans cesse accrue, le gouvernement résolut de réaliser en un an, dans des chantiers nationaux, une production de 3 millions de tonnes. Il y aurait à décrire les prodiges d'organisation effectués par les ingénieurs et les industriels chargés d'exécuter ce programme. La part des ouvriers est celle qui nous retient aujourd'hui : elle mérite tous les éloges.

A la fin de 1917, l'emplacement de Hogs Island, à l'embouchure de la Delaware, était choisi pour y ériger cinquante cales de construction pour des navires de 5 000 à 9 000 t. Le lieu était une lande humide, en partie boisée. En plein hiver, il fallait défricher et déboiser, renforcer le sous-sol par des pilotis et dresser les charpentes métalliques des cinquante cales. Le sol était couvert de neige et gelé si profondément, en cet hiver le plus rigoureux qu'on ait vu depuis trente ans, que les travaux de terrassement ne purent se faire qu'à l'aide de jets de vapeur sous pression, amollissant l'écorce durcie du marécage. Le charbon arrivait dans les wagons en une masse compacte qu'il fallait désagréger au pic et à la pioche. Les rails et les poutres de fer ne pouvaient être maniés qu'à l aide d'épais gants de cuir. Trente mille ouvriers travaillèrent à cette œuvre de géants, et ce qui aurait demandé, en temps ordinaire, un an de labeur, fut accompli en six mois.

Puis les chantiers entrèrent en activité. Les charpentiers de navires exercés étaient en petit nombre. On fit d'eux les instructeurs d'une armée d'ouvriers venus de tous les métiers et qui s'adaptèrent en quelques semaines. Puis les instructeurs devinrent entraîneurs d'hommes. L'application, l'élan, la diligence allègre de ces travailleurs obtinrent des résultats inconnus dans les annales de la construction maritime. Toutes les pièces étaient réunies à pied d'œuvre par l'activité incessante de vingt lignes de chemin de fer et par des équipes de classement des matériaux, le premier navire de 7 000 t fut achevé en vingt-sept jours (il fallait près d'un an autrefois pour monter une coque). Après deux mois de pratique, les mêmes équipes réduisirent le temps du montage à vingt et un jours. C'était un triomphe de hâte intelligente, d'énergie, et, ce qui est plus remarquable encore, de coordination. La mollesse d'un seul ouvrier dans un groupe eût entraîné des retards qui se seraient chiffrés par plusieurs jours. Les riveteurs, par exemple, travaillent par équipes de trois : le boy qui chauffe le rivet, l'ouvrier en second qui place le rivet avec des pinces, l'ouvrier en premier qui le martèle avec le marteau hydraulique. Une émulation s'établit entre les équipes de riveteurs, si bien qu'elles cherchèrent à se dépasser l'une l'autre et réussirent à battre tous les records connus. Les équipes travaillaient aux pièces. On cite une équipe où le premier ouvrier se fit en un jour 250 fr, le second ouvrier 190 fr et le boy 120 fr.

On avait connu des périodes de hauts salaires, en temps de paix, dans lesquelles les ouvriers, gagnant fort au delà de leurs besoins, prenaient l'habitude de ne travailler que trois ou quatre jours par semaine. L'élan patriotique, pendant la guerre, soutint leur effort d'une façon permanente. On ne peut s'y méprendre, c'est la volonté d'apporter à la guerre leur contribution pleine et entière, la conscience du devoir incombant à la classe ouvrière de soutenir de toutes leurs forces les combattants, là-bas, sur les champs de bataille, qui transforma l'esprit des ouvriers. Le gain n'entre que pour une part secondaire dans les raisons de leur dévouement. Ce fut éminemment à des causes morales qu'ils obéirent.

Une preuve frappante en est donnée par la détermination prise en bloc par les charpentiers de navires de Seattle, port du Pacifique, aux confins de la Colombie britannique. On leur avait demandé de redoubler d'efforts et proposé de renoncer à la liberté du samedi après-midi, en échange d'une haute paye pour les heures supplémentaires ainsi prises sur leur demi-journée de repos. Ils décidèrent en corps de continuer le travail le samedi tout entier et refusèrent le tarif plus élevé des salaires.

Les autorités ne négligèrent aucun moyen de faire appel à ces sentiments si nobles des ouvriers. Elles appliquèrent en grand des méthodes d'encouragement, qui ne faisaient que commencer à se faire jour avant la guerre et dont le principe repose sur la reconnaissance des qualités humaines, en l'homme qu'est l'ouvrier. Je reparlerai de ces méthodes

Digitized by Google

dont les Américains deviennent de plus en plus conscients et qui annoncent une prochaine révolution dans l'industrie.

La guerre aura été pour tous les pays de l'Entente un grand stimulant de la pensée, comme de l'énergie. Entre toutes les nations, l'Amérique aura profité du cataclysme universel pour s'élever dans l'ordre de la production efficiente et dans le domaine des valeurs morales. Elle y aura gagné une nouvelle ardeur patriotique dans toutes les classes et une diffusion nouvelle de la fierté nationale. Elle sortira de la crise plus unie et plus forte. Ayons les yeux tournés vers elle : c'est un pays de grandes initiatives et de puissantes forces de progrès.

Les Offices de placement.

La deuxième conférence nationale des Offices publics de placement vient de tenir ses assises à Marseille; à ce propos, « L'Exportateur français » publie, sous la signature de Charles Haye, l'intéressant article suivant dans son numéro du 30 janvier 1919.

Les délégués présents ont, après une assez longue discussion, émis le vœu que sous réserve des modifications susceptibles d'être introduites dans un projet ultérieur, la proposition de loi votée par le Sénat au sujet des Offices de placement paritaires, soit rapidement adoptée, sans aucune modification, à la Chambre des députés.

L'embauchage des salariés pourrait ainsi se poursuivre selon des règles uniformes et avec le contrôle des patrons et des ouvriers.

Ils ont également attiré l'attention du Parlement sur le danger d'une tentative d'organisation pour un domaine déterminé de services de placement spéciaux, qui n'aurait d'autre résultat que de rompre l'unité indispensable en pareille matière et d'empêcher tout effort rationnel de répartition de la main-d'œuvre.

Il faut que, dans chaque centre, un seul bureau soit qualifié pour effectuer les opérations de placement, qu'il concentre les offres et les demandes d'emploi et répartisse judicieusement les bras disponibles en tenant compte à la fois des besoins de la production et des préoccupations d'ordre social, lesquelles imposent des ménagements particuliers à l'utilisation de certains concours, comme celui de la femme, des mutilés, des réformés.

Les chefs d'industrie comme les salariés intéressés à l'aménagement logique du marché du travail ne donneront d'ailleurs aux institutions dont il s'agit, la confiance indispensable à leur développement que s'ils les sentent dégagées de toutes suggestions bureaucratiques, inspirées dans leur fonctionnement par les méthodes commerciales les plus modernisées et surtout s'ils ont conscience de l'impartialité absolue qui préside à l'accomplissement de leur mission.

C'est pourquoi il est urgent que les Offices locaux s'orientent de plus en plus vers la spécialisation professionnelle de leur personnel, qu'ils sollicitent la collaboration étroite des commissions paritaires, composées d'un nombre égale d'employeurs et d'employés.

La conférence estima indispensable d'abroger, dans le plus bref délai, les dispositions caduques de la loi de 1860 qui confient à des agents d'émigration, dont les agissements ont si souvent donné lieu à de légitimes protestations, le soin de recruter et de faire entrer sur le territoire français les travailleurs étrangers ou coloniaux utiles à la production nationale.

Cette besogne, ainsi que celle d'assurer à l'intérieur même du pays les afflux de main-d'œuvre, doit être accomplie par le réseau complet des institutions publiques de placement seules qualifiées pour connaître les besoins auxquels correspondent les migrations.

Dans cet ordre d'idées, les congressistes souligneront l'obligation de réaliser à la conférence de la paix les accords susceptibles de régulariser le marché international de la main-d'œuvre.

Aucune puissance plus que la nôtre n'aura, au retour de l'économie normale, à réclamer l'aide des tâcherons étrangers. La création demandée par la Commission du travail de la Chambre des députés sur l'initiative de M. Justin Godart, d'une conférence périodique internationale du travail, comprenant les délégués des organisations ouvrières et patronales, le fonctionnement d'une cour d'arbitrage devant laquelle seraient renvoyées toutes les contestations que ne manquera pas de soulever le contingentement de la main-d'œuvre, l'organisation d'un bureau international de statistique et de documentation sont le complément indispensable de ces accords.

Malgré les imperfections ci-avant signalées, la tâche énorme du reclassement des démobilisés qui va incomber au ministère du Travail, ne trouve pas ce département désemparé, noyé dans les mesures hasardeuses d'une improvisation hâtive.

Dès 1915, MM. Bienvenu Martin et Albert Métin, membres des précédents cabinets, avaient pris l'heureuse initiative de provoquer, dans toute la France, la création d'Offices de placement bien outillés.

Ces institutions de formation récente, appelées à la vie sous des auspices peu favorables, au moment où l'activité économique restreinte rendait leur fonctionnement difficile, se sont cependant développées chaque jour et autorisent maintenant tous les espoirs.

La grande majorité des conseils généraux et municipaux comprenant l'importance, au point de vue de l'intérêt national, de l'aide pécuniaire qu'on réclamait d'eux, ont répondu avec empressement à l'appel des pouvoir publics.

De sorte que, pour 1918, le total des crédits votés par leurs soins, applicables aux organes qui nous préoccupent, dépasse 1 million.

De son côté, l'État coopère aux dépenses nécessaires dans une proportion qui varie de 25 à 40 pour 100, suivant le chiffre des opérations effectuées.

Quant au nombre des placements réalisés, il est passé successivement de 161,000 en 1916 à 194 000 en 1917 et il se trouve supérieur à 350 000 en 1918. Pendant la même période, comme contre-partie de ces opérations, la proportion des chômeurs secourus, n'a cessé de décroître sauf en novembre et décembre 1918.

Pour ne citer qu'un seul exemple typique, on comptait à Paris, en octobre 1918, à peine 10 000 personnes sans occupations, la plupart des vieillards ou des malades, alors que leur total atteignait avant la guerre, en période normale, le chiffre énorme de 55 000.

Les Offices publics, dans les circonstances délicates où nous sommes, vont rendre d'autant plus de services qu'ils ont déjà acquis une certaine expérience à résoudre des problèmes du même ordre que ceux posés actuellement à l'attention du gouvernement.

Sans doute, les questions précédemment solutionnées n'avaient pas la même envergure, mais les connaissances acquises et expérimentées au cours d'un passé exempt de critiques, fécond en bons résultats, leur permettront d'éviter de commettre des erreurs fondamentales puisqu'ils vont manœuvrer sur un terrain déjà exploré.

Digitized by Google

Ces offices furent appelés à plusieurs reprises à dissoudre des masses assez imposantes de chômeurs; d'abord lorsque les restrictions alimentaires provoquèrent le licenciement d'une partie du personnel des pâtisseries et biscuiteries, ensuite chaque fois que les événements militaires amenèrent l'évacuation de certaines localités et régions voisines de la ligne de feu, ou bien encore causèrent l'exode de toute une population timorée fuyant les possibilités d'invasion.

Là ne s'est pas borné leur rôle.

Ils durent aussi procurer du travail aux habitants des contrées du Nord, de l'Aisne, des Ardennes rentrés en France par Aumemasse, Evian, Dieppe et Rouen.

Enfin, ils ont eu également à s'occuper de l'embauchage éventuel des prisonniers âgés, rapatriés comme grands blessés, de même qu'ils recrutèrent, dans des délais très courts, des quantités considérables de salariés pour les armées alliées.

C'est ainsi qu'ils fournirent, en moins de six mois, 30 000 ouvriers aux troupes américaines. Ils organisèrent les équipes de terrassiers pour le camp retranché de Paris et les travaux du front. Ils ont, de plus, engagé des saisonniers en nombre énorme à l'époque des moissons et des vendanges.

Le problème dont nous nous préoccupons vaut qu'on ne néglige aucun facteur capable d'en permettre une résolution satisfaisante. Notre pays doit s'orienter nettement, dans le sens des méthodes nouvelles et assurer la suprématie de l'intérêt national sur les préoccupations de convenances personnelles, s'il veut consolider la situation économique que lui a préparée la victoire si chèrement acquise par l'héroïsme de ses soldats, s'il entend que les sacrifices consentis à la noble cause du droit et de la justice, ne soient pas pour lui une raison d'affaiblissement et de ruine.

La France n'a pas le loisir de perdre une heure du travail que peuvent lui fournir ses enfants; seule l'organisation complète du marché du travail, lui permettra d'obtenir ce résultat.

Assemblées générales

Société d'Électricité de Paris.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 20 DÉCEMBRE 1918.

Cette quatrième année de guerre a provoqué pendant cet exercice les mêmes difficultés de main-d'œuvre et de matériel que les années précédentes.

Le ravitaillement en charbons a été à peu près régulier grâce aux charbons anglais et aux charbons français du Pas-de-Calais; la voie ferrée établie avant la guerre pour le raccord avec le chemin de fer du Nord en a facilité les transports.

Les contrats conclus avant la guerre et durant la première période des hostilités à des conditions favorables grâce à l'importance des commandes et à leur échelonnement sur plusieurs années, sont arrivés successivement à terme. Il n'a pas été permis de les renouveler et même plusieurs ont dû être abandonnés afin de soumettre les intéressés au même régime. Ce régime fonctionnera sous des formes plus ou moins modifiées, pendant une certaine période de temps après la fin des hostilités.

Le service intensif donné par les machines malgré la mauvaise qualité des combustibles ayant accéléré leur usure, il a fallu songer à remplacer quelques groupes si onéreux que soient les prix actuels; la commande en est passée et les autorisations administratives ont été obtenues.

L'énergie électrique vendue par l'usine de Saint-Denis qui, en 1913-1914 avait atteint 145 000 000 kw-h, avait fléchi en 1914-1915, à 86 000 000 kw h. puis était remonté à 116 000 000 kw et avait atteint 154 000 000 kw-h en 1916-1917 en raison de la mise en service de nombreuses usines de guerre dans la région nord parisienne. L'installation de ces usines étant presque achevée, les ventes sont restées stationnaires. Dans le dernier exercice elles ont dépassé 150 000 000 kw-h.

Le léger fléchissement tient aux diminutions de fournitures faites au Métropolitain et au Nord-Sud au printemps dernier, époque à laquelle une fraction de la population parisienne avait quitté la capitale bombardée.

Les recettes de l'exercice ont été de 4 865 891,14 fr et les dépenses de 2 328 490,95 fr.

Le solde bénéficiaire est de 2 537 400,19 fr auquel il faut ajouter le solde de l'exercice précédent 33 505, 89 fr.

Sur ce solde il est prélevé 5 p. 100 pour la réserve légale; 4 p. 100 pour premier dividende au capital; 75 528,70 de réserve statutaire; un deuxième dividende de 10 fr à chaque action et un dividende de 33,33 fr aux parts bénéficiaires.

En conséquence, le dividende total est fixé à 20 fr pour les actions et à 33,33 fr pour les parts bénéficiaires sous déduction des impôts, soit 19 fr par action nominative, 17,60 fr par action au porteur et 28,63 par part bénéficiaire.

Le report à nouveau est de 35 207,38 fr.

BILAN AU 30 JUIN 1918.

Actif.

	fr
Caisse, banques et Débiteurs divers	20 761 470,05
Obligations à souche	3 886 500 »
Approvisionnements	1 056 935,73
Portefeuille	16 223 168,12
Frais de constitution de la Société, mobilier et aménagements du siège social	mémoire
Frais d'émission des obligations :	
Différence entre le pair et le prix d'émission, commissions et frais divers	1 104 643,32
Premier établissement : Usines de Saint-Denis	21 803 133,82
TOTAL DE L'ACTIF	64 835 851 04

Passif.

	fr
Capital : 200 000 actions de 250 fr	25 000 000 »
10 000 parts bénéficiaires	mémoire
Obligations de 500 francs 4 pour 100 : 43 983 titres en circulation ou à émettre	21 991 500 »
Réserve légale	1 108 782,53
Fonds de renouvellement du matériel :	
Versements des exercices précédents	7 600 000 »
Prélèvement sur l'exercice 1917-1918	600 000 »
Créditeurs divers	4 775 455,31
Intérêts et dividendes. Coupons restant à payer :	
Actions	602 659,56
Parts bénéficiaires	138 838,75
Obligations	448 308,91
Profits et Pertes :	
Solde au 30 juin 1918	2 570 906,08
TOTAL DU PASSIF	64 835 851,40

Digitized by Google

Tréfileries et laminoirs du Havre (Anciens Etablissements Lazare Weiller, Société coopérative de Rugles et La Canalisation électrique réunis).

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 28 DÉCEMBRE 1918.

La Société a augmenté, pendant cet exercice, l'importance de ses participations industrielles en s'intéressant, soit à la production des matières premières nécessaires à ses fabrications, soit à des industries utilisant ses propres produits, soit encore à des groupements constitués pour développer des moyens d'actions régionaux dont elle peut tirer profit.

Les intérêts pris sont les suivants :

Dans la *Société normande de métallurgie*, dont l'usine a été créée près de Caen avec tous les perfectionnements de l'industrie moderne.

Dans la Société *Les Corderies de la Seine*, qui compte développer sa câblerie métallique.

Dans la *Société commerciale du canal de Tancarville* constituée par les principales sociétés de navigation intéressées au développement du port du Havre.

Dans la *Société normande de constructions navales* créée sous le patronage de MM. Schneider et Cie.

En Italie, la Société a pris part à l'augmentation de capital de la *Societa Elettrica Riviera di Ponente* (Negri). Cette société est actuellement au capital de 110 millions de lires, elle distribue l'énergie électrique sur tout le littoral italien de Vintimille à la Spezzia et est un intéressant client pour la Société *Trafilerie e Laminatoi di Metalli*, dont la Compagnie possède un nombre important d'actions.

En Espagne, la Compagnie s'est intéressée à la *Société espagnole de Constructions électromécaniques*, créée au capital de 25 000 000 de pesetas par un groupe d'industriels français; l'usine est à Cordoue et doit traiter les minerais de cuivre d'Espagne pour fabriquer tous les produits de cuivre ou de laiton, les fils et câbles nus ou isolés et les dynamos.

En prenant ces participations, la Société développe sa vie industrielle en s'associant à des entreprises qui étendent ses moyens d'action et la fortifient contre la concurrence.

Le montant total des factures faites pendant l'exercice a été d'environ 10 pour 100 inférieur à celui de l'exercice précédent par suite de la réduction des commandes pour la guerre, du manque de matières premières et de combustibles.

La main-d'œuvre a augmenté considérablement, près de 6 683 647 fr en un an, malgré une diminution d'effectif.

Les prix de vente n'ont pas tenu compte de cette hausse.

Le taux des bénéfices de guerre a été élevé de 60 pour 100 à 80 pour 100.

Les résultats bénéficiaires s'en sont ressentis, ils sont inférieurs à ceux obtenus dans l'exercice précédent; 8 835 447,86 fr contre 10 770 750,89 fr.

Sur le bénéfice de cet exercice, il est prélevé 1 888 912,02 fr pour amortissement des bâtiments et du matériel; 752 289,48 fr pour la réserve légale; un premier dividende de 5 pour 100 et 10 pour 100 de tantièmes statutaires, soit un total de 5 285 626,15 fr.

Il reste à répartir 3 549 821,71 fr, plus le report de l'exercice précédent 1 643 838,14 fr.

Un deuxième dividende de 10 pour 100 est distribué.

Il reste un solde de 693 659,85 fr à reporter.

Le dividende est donc de 15 fr par action, dont acompte de 10 fr a été mis en distribution le 4 novembre dernier contre remise du coupon 18. Le solde de 5 fr, moins les impôts, a été payé à partir du 30 décembre contre le coupon 19.

BILAN AU 30 JUIN 1918.

Actif.

		fr
Usines :		
du Havre	30 270 357,43	
de Rugles	2 293 520,66	
de Saint-Maurice et de Dijon (C. E.)	4 974 281 87	29 558 648,03
de Charleval, La Praz, Paris (A. L.)	629 750,91	
de Bordeaux (M. G. M.)	15 297 040,10	
A déduire amortissements	23 906 302,94	
Siège social, matériel de bureau		1 000 »
Etudes, essais, recherches, brevets		1 »
Prime de remboursement des obligations et des bons		1 083 730 »
Caisses		497 810,75
Banquiers		9 756 020,02
Bons de la Défense nationale		2 005 000 »
Titres en portefeuille		42 129 628,80
Clients et débiteurs divers		134 015 412,13
Effets à recevoir		418 361,84
Cautionnements		2 950 712,26
Opérations de crédit garanties		11 720 000 »
Cuivres en magasin et en cours de route : 2 000 t, stock réglementaire, comptées au prix fixe de £ 50 la tonne anglaise		2 480 000 »
Existence en excédent pour l'exécution des commandes en cours		53 819 129,50
Métaux divers, marchandises générales, approvisionnements, combustibles		30 738 477,13
		322 173 931,36

Passif.

	fr
Capital	45 000 000 »
Réserve légale	2 945 111 »
Réserve extraordinaire	6 000 000 »
Obligations amorties (réserve)	3 686 750 »
Provision pour fluctuation des cours des métaux en dehors des 2 000 t cuivre, comptées à £ 50.	3 000 000 »
Obligations et bons restant à rembourser (valeur nominale)	22 026 500 »
Coupons d'actions et d'obligations de bons échus et obligations amorties exigibles	2 372 319 »
Effets et Warrants à payer	23 170 688,54
Fournisseurs et divers	191 773 276,82
Opérations de crédits garanties	11 720 000 »
Profits et pertes :	
Reliquat de l'exercice précédent	1 643 838,14
Exercice 1917-1918, déduction faite de la provision pour contribution sur bénéfices de guerre jusqu'au 30 juin 1918	8 835 447,86
	322 173 931,36

Compagnie générale d'électricité.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 20 DÉCEMBRE 1918.

Les bénéfices disponibles ont été de même ordre que précédemment, ils s'élèvent à 4 821 343 fr en augmentation de 752 747 fr, mais pour un capital parallèlement accru.

Les dépenses de premier établissement figurant à l'actif pour 6 784 044 fr, englobent principalement la moitié de la partie non amortie des immobilisations de l'importante usine que possèdent indivisément, à Bordeaux, la Compagnie et les Tréfileries et Laminoirs du Havre. La valeur des ateliers de petite construction mécanique de Courbevoie qui ont été vendus, en a été déduite.

Par suite des restrictions et de la crise des transports, les établissements industriels de la Compagnie ont souffert de cette situation.

L'établissement créé à Saint-Jean-de-Brege, près d'Orléans, en vue de la fabrication et du chargement d'une gre-

Digitized by Google

nade à fusil, a dû être, par ordre, brusquement orienté vers de nouvelles fabrications.

L'établissement de Vincey (aciérie, laminoirs et fabriques de tubes) a interrompu ses travaux sauf pour deux ateliers de tubes, le premier va être mis en marche, le second le sera probablement vers la fin de l'exercice en cours.

La libération de Lille a permis de constater que l'importante usine de Thumesnil, de la *Société de l'accumulateur Tudor*, a été complètement pillée par les Allemands. Les bâtiments sont debout, mais la totalité des approvisionnements et presque tout le matériel a disparu, ce qui reste a été mis hors d'usage, les archives elles-mêmes sont saccagées.

Pour les entreprises de distribution, particulièrement celle d'Amiens, la situation est restée critique. Le total des kilowatts-heure vendus s'élève néanmoins à 100 314 000.

Compagnie d'électricité d'Amiens. — A la suite de l'offensive allemande du 21 mars, la ville a été bombardée sérieusement, l'usine n'a reçu qu'un obus, mais le réseau a été fort endommagé.

Le fonctionnement de l'usine a été arrêté par ordre de l'autorité militaire le 13 avril 1918, après citation à l'ordre du jour de tout le personnel resté à son poste. Depuis octobre la vie reprend à Amiens, la Société endettée au delà de toutes prévisions est incapable de faire face aux dépenses nécessitées par la réfection de l'usine, et de supporter le déficit qu'occasionnerait l'exploitation dans les conditions actuelles. La Compagnie générale d'électricité, son principal actionnaire, qui avait jusque-là pourvu à tous ses besoins lui a fait, sur sa dette, remise d'une somme de 3 millons qui peut être considérée comme définitivement perdue ainsi que la presque totalité du capital social s'élevant à 1 million. Elle ne pouvait faire plus. La Compagnie d'Amiens a alors demandé l'intervention de la Ville et de l'Etat, un premier versement de 100 000 fr à valoir sur les dommages de guerre lui a été fait le 16 novembre ; les travaux de réfection ont pu être commencés et se poursuivent actuellement.

Compagnie lorraine d'Electricité. — Le retour de l'Alsace-Lorraine à la France va donner à la région de l'Est un essor nouveau, la Compagnie verra s'élargir sa zone d'action. Les résultats de l'exercice 1917-1918, clos le 31 mars dernier, ont permis de reprendre les amortissements interrompus depuis 1914; une somme de 1 000 000 fr a pu y être consacrée et le solde bénéficiaire 4 887 fr a été reporté à nouveau.

Compagnie d'électricité de Marseille. — Les bénéfices de 2 519 904 fr, en augmentation de 667 514 fr, ont permis de maintenir le dividende à 25 fr par action de 500 fr.

Energia Electrica de Cataluna. — La progression des ventes s'est maintenue quoique moins accentuée, elle a atteint 95 459 000 kw-h. L'aménagement de la chute de 24 000 ch, sur le moyen Flamisell touche à sa fin, la mise en marche de l'usine est proche. La 3e chute, celle du bas Flamisell, dont la production est presque totalement réservée à la Société, sera probablement achevée avant la fin de 1919. C'est alors seulement que l'exploitation deviendra productive. L'exercice 1917 avait donné un bénéfice net de 159 909 pesetas. Par contre, une sécheresse anormale et le prix excessif du charbon (près de 300 pesetas la tonne rendue à l'usine thermique de San Adrian) pèseront lourdement sur l'exercice 1918, qui se clôturera par un déficit important.

— Le Syndicat des Banquiers de Barcelone a été chargé du placement de bons à 20 ans, du type 500 pesetas 6 pour 100 brut, déjà 35 000 de ces bons ont été souscrits en Espagne.

Le total du bilan montre la continuité et l'importance de l'effort industriel fourni par la Compagnie générale d'électricité, depuis le début des hostilités, il est passé de 205 139 327 fr à 251 299 111 fr

En face d'un total aussi élevé, la Compagnie songe à mettre son capital en harmonie avec l'importance de ses affaires.

Les bénéfices de l'exercice s'élèvent à 4 821 343,78 fr en augmentation de 752 747,32 fr sur l'exercice précédent. Après prélèvement des réserves, il reste 3 779 529,03 fr sur lesquels un dividende de 10 pour 100 est versé et la moitié de la prime de remboursement des obligations 6 pour 100 est amorti, soit 250 000 fr.

Le solde est de 29 529,03 auquel s'ajoute le reliquat de l'exercice précédent 1 205 487,89 fr; le report à nouveau est de 1 235 016,92 fr.

Le dividende 50 fr par action, impôts à déduire, est payable moitié le 26 décembre et moitié le 15 juin prochain.

BILAN AU 30 JUIN 1918.

Actif.

	fr
Terrains, immeubles, constructions et matériel. Concessions et clientèle	22 722 335,22
Dépenses de l'exercice	6 784 041,15
Caisse et banquiers	6 523 516,68
Effets à recevoir	4 299 803.19
Débiteurs divers	61 634 404,86
Comptes courants des filiales et participations.	47 489 185,94
Produits fabriqués	883 840,43
Matières premières, produits en cours de fabrication et approvisionnements divers	38 244 694,16
Titres et participations	52 952 285,95
Opérations de change garanties	9 265 000 »
Apports	1 »
Brevets et licences	1 »
Frais de constitution	1 »
Primes de remboursement et frais d'émission des obligations 4 pour 100	1 »
Prime de remboursement des obligations 6 pour 100	500 000 »
	251 299 111,58

Passif.

		fr
Capital-actions		35 000 000 »
Réserve légale		2 673 054,85
Réserve générale		7 690 500 »
Réserve supplémentaire		19 850 000 »
Fonds spécial		4 000 000 »
Oligations 4 pour 100	30 000 000 »	
Remboursements de l'exercice	633 500 »	
Remboursements antérieurs	7 690 500 »	8 324 000 »
		21 676 000
Obligations 6 pour 100		25 000 000 »
Effets à payer. Créditeurs divers. Provisions et comptes d'ordre		110 371 619,18
Coupons à payer. Obligations à rembourser		3 987 806,28
Comptes courants des filiales et participations.		5 758 209,60
Opérations de change garanties		9 265 000 »
Bénéfices nets de l'exercice 1917-1918		4 821 343,78
Reliquat de l'exercice précédent		1 205 487,89
		251 299 111,58

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF :
Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 8. — 22 FÉVRIER 1919.

Chronique. — Les recherches scientifiques et industrielles en Grande-Bretagne. — L'Ecole supérieure d'électricité et l'Université. — Bibliographie : Comment s'est fait l'aménagement des chutes d'eau en France, par J. TRIBOT-LASPIÈRE; Le contrôle technique à l'Usine (Métaux), par H. ROUET et F. COTTO, p. 281-282.

Section scientifique et technique. — Sur les pertes d'énergie dans les diélectriques des câbles armés, par R. SWYNGEDAUW, p. 283. — Note sur l'onde fondamentale et les harmoniques dans une antenne homogène et dans une antenne non homogène, par L. DUBAR, p. 284. — Revues, analyses et informations : Théorie de l'amplificateur thermo-ionique, p 289; Valeur du champ électrique dans l'espace obscur de Crookes d'un tube étroit, p. 299; Modification partielle des groupes moteurs-génératrices transformant du courant continu, p. 301 ; La réactance des machines synchones et ses applications, p. 302.

Section industrielle. — Programme de transformation du réseau télégraphique francais. Le développement du réseau de câbles, par J.-B. POMEY, p. 303. — Le labourage électrique dans la région de Meaux, par Ach. DELAMARRE, p. 307. — Revues analyses et informations : Les ressources de l'Amérique en énergie, p. 313. — Notes pratiques : Accouplement rapide de deux dynamos, par A. SOULIER, p. 318.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Société des forces motrices de la Loire, p. 319; Omnium français d'électricité, p. 319 ; Compagnie générale de Travaux d'éclairage et de force (anciens établissements Clémançon), p. 320.

Errata, p. 320.

Les recherches scientifiques et industrielles en Grande-Bretagne. — Nous avons déjà appelé l'attention de nos lecteurs sur les efforts tentés par la Grande-Bretagne en vue d'organiser les recherches scientifiques et d'en tirer tout le profit industriel qu'il est possible (1). Voici à ce sujet quelques nouveaux renseignements puisés dans le rapport pour 1917-1918 du Comittee of the privy Council for scientific and industrial Research.

Ce Comité, qui dispose d'un crédit de 25 000 000 fr destiné à être dépensé en quatre ou cinq ans, procède autant que possible par création d'associations corporatives de recherches scientifiques n'ayant pas en vue la réalisation de bénéfices et qu'il subventionne largement; mais il accorde également des subventions à des associations autres que celles qu'il a fondées ainsi qu'aux chercheurs isolés; en outre, il accorde des bourses aux étudiants qui se préparent à l'application des méthodes de recherches scientifiques.

Parmi les associations subventionnées par le Comité il convient de citer : la Station de recherches sur les combustibles dont la construction, évaluée à plus de 3 millions de francs, est très avancée; le Service de recherches sur l'étain et le tungstène auquel le Comité a alloué 65 000 fr par an, tandis que les propriétaires miniers du duché de Cornouailles, particulièrement intéressés à ces recherches, assuraient une allocation annuelle de 50 000 fr pendant trois ans; l'Association britannique de recherches sur les instruments de précision qui, considérée comme fondamentale, comme « clé » ou « pivot » pour toutes les industries, recevra près d'un million en cinq ans en plus de la subvention de 100 000 fr par an que les constructeurs se sont engagés à fournir pendant trois ans, etc.

Les organisations autres que celles créées ou patronnées par le Comité mais auxquelles des subventions sont accordées pour des recherches spéciales étaient au nombre de 15 en 1916-17 : ce nombre s'est augmenté de 6 au cours de l'année 1917-18.

Durant cette même année des bourses ont été allouées à 25 étudiants se préparant aux méthodes de recherches et à 36 chercheurs, maitres ou assistants ; la dépense de ce chef a été de 195 000 fr, au lieu 92 000 fr dans l'année précédente; une augmentation notable est prévue pour l'année 1918-1919.

L'Ecole supérieure d'Électricité et l'Université. — A la suite de pourparlers avec l'Université de

(1) Voir notamment *R. G. E.*, n° 19 du 11 mai 1917, t. I, p. 721.

Digitized by Google

Paris, le cours d'électrotechnique générale professé par M. Paul Janet à l'École supérieure d'Électricité vient d'être rattaché à la Faculté des Sciences de cette Université. Un précédent intéressant, qu'il a suffi de suivre, existait déjà : le cours de chimie biologique, bien que faisant partie des cours réguliers de la Faculté des Sciences est professé par M. Gabriel Bertrand à l'Institut Pasteur, établissement libre et autonome comme l'École supérieure d'Électricité.

La Société française des Électriciens qui, en plein accord avec M. Lucien Poincaré; vice-recteur de l'Académie de Paris, a assuré le succès de cette combinaison par une importante subvention versée à l'Université de Paris et entièrement couverte par des dons, a jugé qu'il y avait là une organisation des plus intéressantes à la fois pour l'École supérieure et pour l'Université qui jusqu'ici ne possédait pas d'enseignement de ce genre. Dès maintenant des travaux spéciaux et réservés aux étudiants de la Faculté des Sciences qui suivent ce cours sont organisés à raison d'une séance par semaine. Un certificat d'études supérieures correspondant à cet enseignement sera vraisemblablement créé dans un avenir prochain.

Il va sans dire que cet enseignement ne peut en aucun cas remplacer l'enseignement complet de l'École lequel, comme on le sait, comprend de nombreux cours et conférences d'applications, cinq séances de travaux pratiques par semaine : en aucun cas, les étudiants de l'Université ayant suivi seulement le cours d'électrotechnique générale, ne pourront se dire diplômés de l'École supérieure d'Électricité.

A ce propos, nous signalerons que l'Administration de l'École prie très vivement MM. les industriels d'exiger la présentation du diplôme original, signé du Président du Conseil, du directeur, de tout ingénieur se disant diplômé de l'École supérieure d'Électricité. Des cas assez nombreux lui ont été signalés de tentatives de fraudes que la mesure précédente permettra d'éviter complètement.

Bibliographie : Comment s'est fait l'aménagement des chutes d'eau en France, par J. Tribot-Laspière, ingénieur civil des Mines (1). — Dans cette étude, publiée tout d'abord dans les numéros du « Génie civil » des 8, 15 et 22 octobre 1918, l'auteur s'est proposé de montrer quels efforts a accomplis l'industrie hydro-électrique française pour se développer, quels moyens elle a employés et dans quelles conditions elle a travaillé.

Dans une première partie, intitulée *Résultats obtenus*, il évalue la puissance disponible, la puissance aménagée, la répartition de celle-ci par région et par industrie, les capitaux engagés. Dans la seconde, il expose l'*Organisation de l'industrie hydro-électrique française* ; il y envisage successivement l'œuvre de l'administration et l'œuvre des techniciens. Dans la troisième, il s'occupe du *Statut des forces motrices hydrauliques* ; il y indique la législation actuelle des cours d'eau, le projet de législation nouvelle, les mesures de guerre. L'ensemble de ces trois parties fournit sur la question de l'utilisation de nos richesses hydrauliques une documentation que les fonctions de l'auteur auprès de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques lui ont permis de rendre à la fois très complète et très sûre.

Dans ses conclusions, M. Tribot-Laspière fait ressortir que la France tient le premier rang des pays d'Europe dans l'utilisation des forces motrices hydrauliques avec une puissance installée de 1 600 000 ch, que ce résultat est dû principalement à l'esprit d'initiative de ses industriels, que ceux-ci savent gré à l'Administration des études qu'elle a entreprises, enfin qu'ils considèrent que la législation actuelle de la question est très suffisante. Voici d'ailleurs la reproduction de ces deux dernières conclusions :

« L'Administration joue un rôle intéressant par les études à longue échéance qu'elle a entreprises en vue d'établir l'inventaire de nos cours d'eau. On peut regretter qu'elle n'ait malheureusement pas toujours facilité la tâche de l'industrie comme il aurait convenu qu'elle le fît et comme elle l'aurait pu, et il faut souhaiter de voir persister dans l'avenir, mais, si possible, sans le cortège de lourdes obligations que l'État cherche à imposer comme contre-partie, des facilités et des simplifications qui ont été accordées pendant la guerre et qui représentent pour l'industrie le seul concours qu'elle ait souhaité.

» D'autre part, l'expérience de vingt années et les résultats obtenus montrent que la législation actuelle est très suffisante. En particulier, le fait que l'industrie s'est portée principalement vers le cours d'eau du domaine privé indique qu'elle cherche à éviter les longueurs, les complications et la précarité du régime de la concession et qu'elle s'accommode surtout du régime de la liberté. On peut donc se demander s'il est bien nécessaire, abstraction faite de l'octroi des moyens d'action contre les barreurs de chutes, de la doter d'un statut nouveau. »

Bibliographie : Le contrôle technique à l'Usine (métaux), par H. Rouet et F. Corro, ingénieurs des Arts et Métiers (1). En écrivant ce livre, les auteurs ont eu pour principal but de dissiper les méfiances qui existent entre l'ouvrier et le vérificateur appelé à contrôler sa production. On y trouve successivement l'étude des matières premières employées en métallurgie, ce qui caractérise un métal, les machines à essayer les métaux, l'étude des aciers, les défauts des métaux, les défauts d'usinage, les défauts de montage.

La lecture de ce livre permettra à l'ouvrier de connaître les éléments d'appréciation du contrôle et, par suite, de comprendre le motif du refus de certaines pièces; aux contrôleurs et contre-maîtres de préciser ce motif.

(1) Brochure, format 24 cm × 16 cm, 40 pages. Publications du journal « Le Génie civil ».

(1) Un volume format 21 × 14 cm, 101 pages, 61 figures, édité par H. Dunod et Pinat. Prix, majoration comprise, 5,40 fr.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Sur les pertes d'énergie dans les diélectriques des câbles armés

Dans la note ci-dessous, présentée à l'Académie des Sciences (1), *l'auteur donne les résultats d'essais faits sur des câbles à trois conducteurs.*

Lorsqu'on charge un câble triphasé à une différence de potentiel alternative donnée entre les trois âmes connectées ensemble et l'enveloppe, le quotient de la puissance P en watts absorbés par le carré du courant I en ampères ne donne pas, comme on pourrait le croire a priori, la résistance effective du câble

$$R = \frac{P}{I^2}.$$

La valeur de R ainsi déduite est de l'ordre de 30 fois celle obtenue par la méthode décrite antérieurement; la raison en est que la *presque totalité de l'énergie absorbée par le câble ainsi alimenté l'est dans les isolants plutôt que dans les conducteurs*; l'expérience suivante le démontre nettement.

Soient deux câbles triphasés C_1 et C_2 joignant la sous-station S à un poste de transformation T.

Dans une première disposition, les trois âmes de chacun de ces câbles sont connectées ensemble entre elles en S et les trois âmes de C_1 connectées aux âmes de C_2 en T; les câbles sont associés en *série*.

Dans une deuxième disposition, les câbles associés comme dans le premier cas ont en outre leurs extrémités libres de la sous-station S connectées entre elles; les câbles sont associés en *parallèle*.

L'expérience montre que, dans les deux dispositions série ou parallèle, la consommation en watts reste sensiblement la même quand on applique une tension alternative U entre les extrémités des âmes de C_1 et l'enveloppe.

Le courant fourni par la source est le même courant de capacité (l'effet Ferranti étant négligeable pour des câbles d'une dizaine de kilomètres de long); les pertes dans le diélectrique sont restées les mêmes dans les deux cas, mais les pertes dans les parties métalliques ont été réduites dans l'association en parallèle au quart de leur valeur dans l'association en série.

Les quatre ou cinq câbles sur lesquels j'ai pu opérer n'absorbant pas la même puissance par kilomètre et par volt, quoique la spécification et la construction fussent identiques, je fus conduit à attribuer ces différences dans les pertes observées à une différence dans les températures; les câbles n'avaient pas le même parcours.

Pour vérifier cette hypothèse, je chauffais, pendant quelques heures, les âmes des câbles C_1, C_2 par du courant triphasé basse tension, je mesurais la puissance absorbée dans le diélectrique des câbles sous tension à vide U volts entre les trois âmes connectées ensemble et l'enveloppe, avant et après le chauffage. La température des âmes était mesurée électriquement, par variation de leur résistance, un temps très court (de l'ordre de 2 minutes) après la suppression du courant de chauffage, je mesurais ensuite de temps en temps la puissance P absorbée par le diélectrique des câbles sous tension, je traçais la courbe de la variation de la puissance P portée en ordonnée en fonction du temps écoulé depuis la suppression du courant de chauffage porté en abscisse; je pouvais ainsi déterminer, par une extrapolation sûre, la puissance absorbée par le diélectrique du câble à l'instant de la mesure de la température.

La température θ du sol était prise au voisinage de la sous-station au fond d'un trou ayant 0,80 m de profondeur.

J'ai opéré sur des câbles triphasés 3×100 mm² à tension normale de service 10 000 volts entre conducteurs; voici les résultats d'une expérience sur câble de longueur 3,6 km; capacité 1,316 µF.

La température θ du sol au voisinage de la sous-station étant 12°, un courant de chauffage amenait les âmes à 24° au-dessus de celle de l'enveloppe; 1 heure après la suppression du courant de chauffage, la température des âmes et la consommation dans le diélectrique étaient redevenues les mêmes qu'avant le chauffage.

Pour une tension de 10 750 volts entre âmes et enveloppe, le câble consomme 1 858 watts dans son diélectrique avant le chauffage et seulement 1 000 watts quand la température excède de 24° celle de l'enveloppe, ce qui correspond *à une diminution de* 1,9 *pour* 100 *par degré d'excès de la température des âmes sur celle de l'enveloppe*. Dans un câble sous charge, *le diélectrique étouffe d'autant moins les surtensions que les âmes sont plus chaudes*, c'est-à-dire que le courant y est plus intense et depuis un temps plus long.

La perte de puissance W dans le diélectrique d'un câble de capacité C chargé à la tension U entre âmes et enveloppe à la fréquence F est donnée par une relation de la forme

$$W = (a + bU)\, CFU^2,$$

où a et b sont des constantes.

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 27 janvier 1919, t. CLXVIII, p. 230-232.

Digitized by Google

A la température de 12° la perditance du câble a, par kilomètre, la valeur

$$g = \frac{W}{U^2 L} = 4{,}4.10^{-6} \text{ mhos};$$

quand les âmes échauffées par le courant ont atteint la température de 24°,

$$g = 2{,}4.10^{-6} \text{ mhos}.$$

R. Swyngedauw,
Directeur de l'Institut électrotechnique de Lille.

Note sur l'onde fondamentale et les harmoniques dans une antenne homogène et dans une antenne non homogène

Dans un article précédent (Propagation des courants électriques dans une antenne. « R. G. E. », 14 septembre 1918, t. IV, n° 11, p. 363), M. Chireix établit dans plusieurs cas simples d'antennes non homogènes les formules de répartition des courants et des tensions et les équations donnant les longueurs d'onde propres. Nous nous proposons dans cette note de résoudre ces équations, au moins de façon approchée, et d'en tirer des conclusions sur la distribution des harmoniques dans quelques hypothèses simples.

On sait, et divers auteurs l'ont signalé, que, dans une antenne non homogène, la loi de distribution des longueurs d'onde s'écarte de la loi harmonique. Déjà, en 1901, M. Lamotte dans sa thèse « Recherches expérimentales sur les oscillations électriques d'ordre supérieur » (p. 50) en fait la remarque. C. Tissot, dans sa thèse « Étude de la Résonance des systèmes d'antennes dans la Télégraphie sans fil », Gauthier-Villars, 1906, indique également ce fait (p. 104-106).

Signalons encore l'article de A. Guyau (Sur le rôle d'une capacité et d'une self-induction à la base d'une antenne. *La Lumière électrique*, 1911, t. XV, p. 13). Cet auteur développe des considérations intéressantes sur l'influence de la self-induction et de la capacité sur les divers harmoniques. Nous reprenons cette question plus loin en partant de l'équation générale des longueurs d'onde dans un tel système.

L'analogie d'une antenne et d'un corps vibrant au point de vue de la forme des équations a été souvent signalée. Les travaux mathématiques effectués dans l'ordre mécanique peuvent être applicables à l'ordre électrique et vice-versa. Aussi, nous noterons en passant les études faites par Swartz, H. Poincaré, E. Picard, sur les harmoniques des corps vibrants et qui ont surtout en vue des théorèmes d'existence.

Dans le cas d'une corde vibrante homogène ou d'un tuyau sonore cylindrique de grande longueur par rapport à son diamètre, les fréquences des harmoniques sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale. Dans un tuyau fermé, on n'a que les nombres entiers impairs. Si la corde vibrante n'est pas homogène ou le tuyau de section non constante, les fréquences des harmoniques n'ont plus un rapport simple avec la fréquence fondamentale.

De même, une antenne homogène vibre comme un tuyau sonore fermé, les différentes fréquences étant dans les rapports 1, 3, 5, 7, etc.

Si l'antenne n'est plus homogène, on a encore une infinité d'harmoniques, mais qui n'ont plus entre eux un rapport simple.

On a constaté expérimentalement la chose sur une antenne spirale dont la montée et la nappe étaient de caractéristiques très différentes. L'onde fondamentale avait 2980 m de longueur d'onde, le premier harmonique 1 100 m et le deuxième 680 m, soient les rapports 2,7 et 4,3 au lieu de 3 et 5 qu'aurait eus une antenne homogène.

Nous allons étudier succinctement et surtout au point de vue qualitatif les systèmes oscillants électriques suivants :

1° Système self-inductance et capacité concentrées;

2° Antenne homogène;

3° Antenne avec self-inductance et capacité concentrées à la base;

4° Antenne formée de deux tronçons homogènes.

I. — **Circuit oscillant formé d'une self-induction et d'une capacité concentrées.** — Rappelons qu'un tel système vibre pour une seule onde et n'a pas d'harmoniques. Appelons L et C la self-induction et la capacité et négligeons la résistance. Le courant I est donné par l'équation différentielle

$$L\frac{d^2 I}{dt^2} + \frac{1}{C} I = 0,$$

qui admet comme unique solution

$$I = A\cos\omega t + B\sin\omega t,$$

la pulsation ω ayant pour valeur

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Digitized by Google

II. — **Antenne homogène de self-induction et de capacité L et C, constantes, par unité de longueur.** — Soit x la distance d'un point à l'extrémité reliée au poste, V et I le potentiel et le courant en ce point, on a les deux équations aux dérivées partielles

$$\frac{\partial V}{\partial x} = L\frac{\partial I}{\partial t}, \qquad \frac{\partial I}{\partial x} = C\frac{\partial V}{\partial t}.$$

L'élimination de I entre ces deux équations nous donne

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = LC\frac{\partial^2 V}{\partial t^2}.$$

On a de même

$$\frac{\partial^2 I}{\partial x^2} = LC\frac{\partial^2 I}{\partial t^2}.$$

Ces équations sont en tous points analogues à l'équation des cordes vibrantes ou des tuyaux sonores. Les conditions aux limites sont les suivantes : à l'extrémité émettrice, nous avons un ventre de courant et un nœud de potentiel. A l'extrémité libre, un nœud de courant et un ventre de potentiel. L'antenne vibre comme un tuyau sonore encore fermé où la pression de l'air est comparable au potentiel et la vitesse de déplacement de l'air au courant. L'analogie est complète. La longueur d'onde fondamentale est quatre fois la longueur du fil. Les harmoniques sont impairs, leurs longueurs d'ondes sont respectivement le 1/3, le 1/5, etc..., de la longueur d'onde fondamentale. Le croquis (fig. 1) donne la répartition du courant dans l'antenne pour les trois premiers harmoniques.

Ces divers harmoniques pourront, d'ailleurs, coexister ensemble dans l'antenne, mais en général l'un d'eux prédominera nettement sur les autres comme dans les tuyaux sonores.

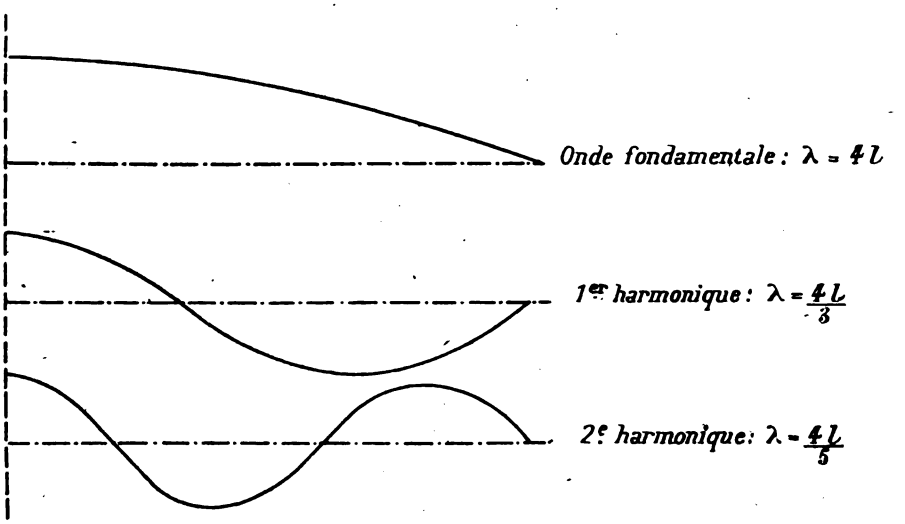


Fig. 1. — Répartition des courants dans une antenne homogène.

Si l est la longueur de l'antenne, les longueurs d'ondes de l'onde fondamentale et des harmoniques sont données par les racines de l'équation

$$(1) \qquad \operatorname{cotg}\frac{2\pi l}{\lambda} = 0,$$

ce qui donne bien

$$\lambda_1 = 4l; \quad \lambda_2 = \frac{4l}{3}; \quad \lambda_3 = \frac{4l}{5}; \text{ etc...}$$

III. — **Influence d'une self-induction et d'une capacité concentrées, intercalées à la base de l'antenne.** — Nous allons voir que la longueur d'onde des harmoniques n'est plus en rapport simple avec celle de l'onde fondamentale

Appelons L_0 et C_0 les valeurs de la self-induction et de la capacité concentrées. On sait que les longueurs d'ondes de l'onde fondamentale et des harmoniques sont données par les racines de l'équation bien connue

$$(2)\,(1) \qquad \operatorname{cotg}\frac{2\pi l}{\lambda} = \frac{2\pi l}{\lambda}\frac{L_0}{Ll} - \frac{\lambda}{2\pi l}\frac{Cl}{C_0}.$$

Pour $L_0 = 0$ et $C_0 \to \infty$, on retombe sur l'équation (1), ce qui était à prévoir.

On peut prendre comme variables

$$\frac{\lambda}{l} = x, \qquad \frac{L_0}{Ll} = y, \qquad \frac{Cl}{C_0} = z;$$

l'équation (2) devient alors

$$(2^{bis}) \qquad \operatorname{cotg}\frac{2\pi}{x} = \frac{2\pi}{x}y - \frac{x}{2\pi}z.$$

(1) Cette formule est démontrée comme cas particulier d'une antenne en 3 tronçons dans l'article précité de M. Chireix.

Digitized by Google

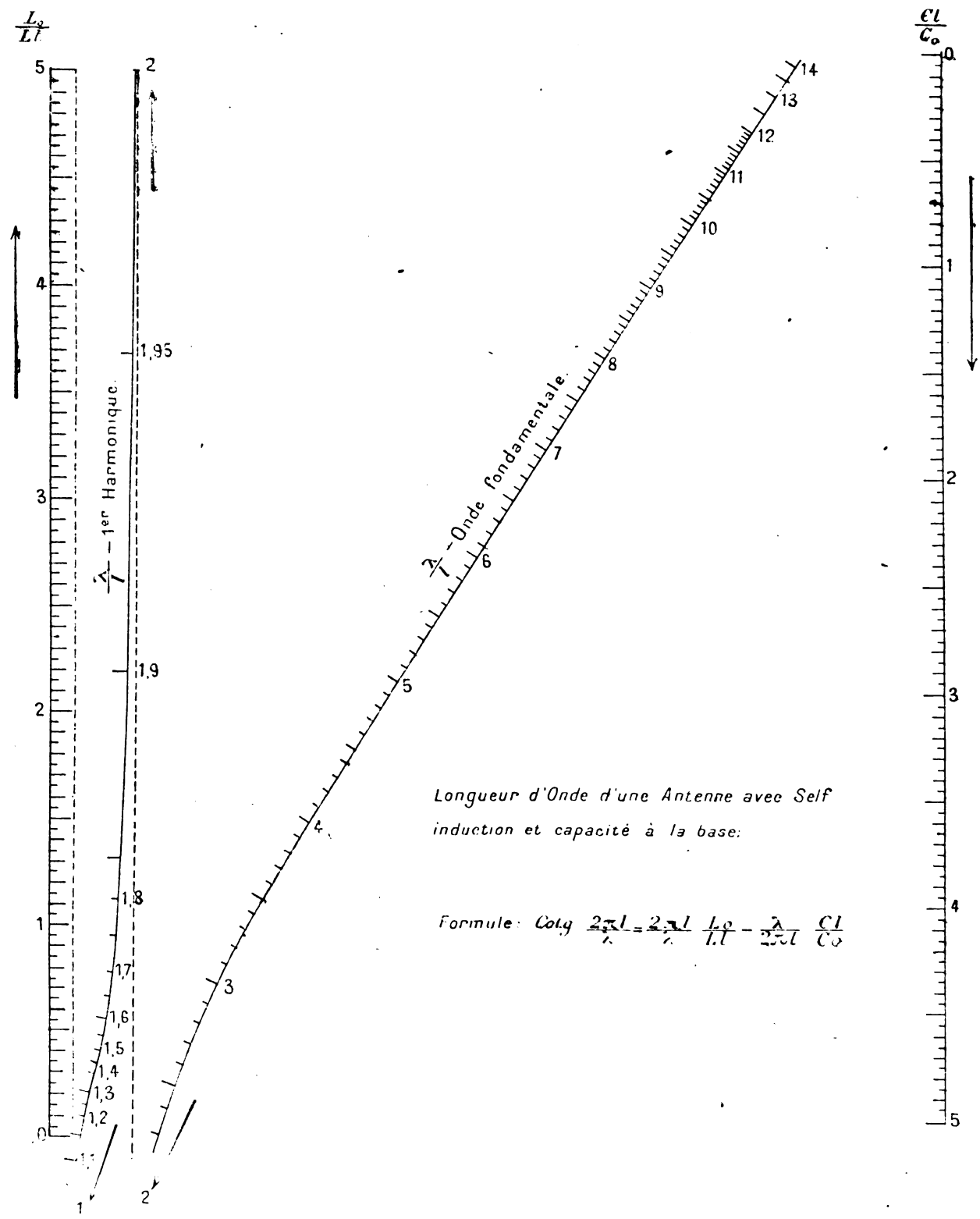


Fig. 2.

Il est commode de traduire la formule (2 *bis*) en abaque à points alignés (fig. 2). Nous avons construit cet abaque pour la fondamentale et le premier harmonique. Les échelles de y et de z sont rectilignes parallèles et

Digitized by Google

régulières. Elles sont dirigées en sens inverse. Lorsqu'on les a tracées, on détermine facilement les échelles de x pour les différents harmoniques. On peut opérer de la façon suivante :

On se donne une valeur de x soit x_1. En portant cette valeur dans la formule (2 *bis*), on a une relation linéaire entre y et z. On se donne deux valeurs de y, y_1 et y_2. On déduit de la formule les deux valeurs de z, z_1 et z_2.

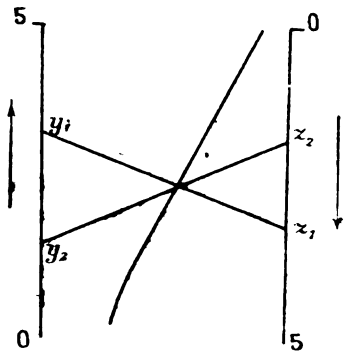


Fig. 2 *bis*.

L'intersection des deux droites correspondantes nous donne à la fois un point de l'échelle des x et sa cote x_1 (fig. 2 *bis*). En joignant les points obtenus pour les différentes valeurs de x, on obtient une courbe graduée qui est l'échelle des x. Pour les valeurs de x comprises entre 2 et l'infini, on a l'onde fondamentale ; pour celles comprises entre 1 et 2, on a le premier harmonique.

VARIATIONS DES LONGUEURS D'ONDES DES HARMONIQUES. — Nous avons vu que si la self-inductance est nulle et la capacité infinie, $\frac{\lambda}{l}$ a pour valeurs : 4, 4/3, 4/5, etc.

L'addition d'une self-induction augmente toutes les longueurs d'ondes ; celle d'une capacité les diminue, mais ces appareils agissent d'une façon très inégale sur les différents harmoniques. Pour l'onde fondamentale, lorsque la self-induction augmente indéfiniment, la longueur d'onde augmente également indéfiniment ; lorsque

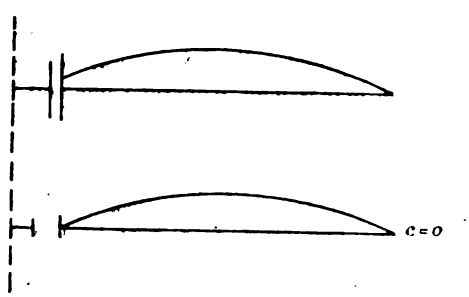


Fig. 3. — Effet d'une capacité sur l'onde fondamentale.

la capacité diminue, la longueur d'onde diminue et, pour une capacité nulle, l'antenne vibre en demi-onde à la limite (fig. 3), la capacité formant coupure et tendant à créer un nœud de courant à l'extrémité émettrice.

La figure 4 nous montre pour l'harmonique 3 comment vibre l'antenne, pour les trois cas, d'une grande self-

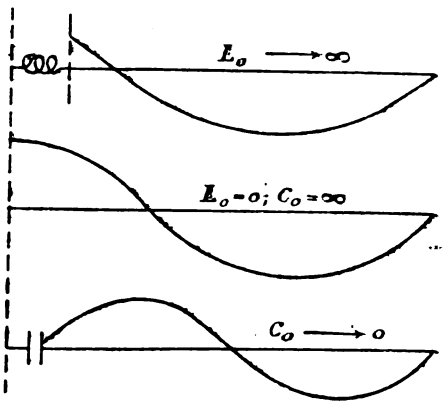


Fig. 4. — Effet d'une self-inductance et d'une capacité sur le 1er harmonique.

induction, self-induction nulle et capacité infinie, et d'une faible capacité.

On a (1)

$$\text{pour } L_0 \to \infty, \qquad \lambda \to 2l.$$

$$\text{» } L_0 = o,\ C_0 = \infty, \qquad \lambda \to \frac{4l}{3}.$$

$$\text{» } C_0 \to o, \qquad \lambda \to l.$$

Par un raisonnement analogue on voit aisément que, pour l'harmonique de rang n, on a

$$\text{pour } L_0 \to \infty ; \qquad \lambda \to \frac{2l}{n}.$$

$$\text{» } L_0 = o \text{ et } C_0 = \infty ; \qquad \lambda \to \frac{4l}{2n+1}.$$

$$\text{» } C_0 \to o ; \qquad \lambda \to \frac{2l}{n+1}.$$

Remarques. — 1° Nous voyons sur l'abaque que l'échelle des x correspondant au premier harmonique est déjà très rapprochée de l'échelle des $\frac{L_0}{L_1}$. A partir du 5ème harmonique elle se confond sensiblement avec cet axe. Cela signifie que l'influence de la capacité C_0 est d'autant moins sensible que le rang de l'harmonique est plus élevé ; ce qui est évident physiquement puisque la fréquence augmente et que l'impédance de la capacité diminue avec la fréquence.

2° Nous remarquons également que, déjà pour le premier harmonique, la plus grande partie de l'échelle des x correspondant à cet harmonique est graduée entre 1,8 et 2. A mesure que le rang des harmoniques augmente, la valeur de leur longueur d'onde se rap-

(1) Voir A. GUYAU. Article précité.

Digitized by Google

proche d'une constante qui est sa limite supérieure. Si l'on veut, la fréquence qui, sans self-inductance ni capacité, est un multiple impair de la fréquence fondamentale tend à se rapprocher de plus en plus du multiple pair immédiatement inférieur. A partir d'un rang suffisamment élevé, pour de très grandes variations de la self-inductance et de la capacité, cette fréquence reste sensiblement égale à ce multiple pair. Le phénomène s'explique par le fait que la réactance d'une self-inductance donnée augmente avec la fréquence.

3° L'abaque montre que le rapport des longueurs d'onde de la fondamentale et du premier harmonique n'est pas forcément simple. On peut même se le donner arbitrairement dans de certaines limites et en déduire les valeurs de L_0 et de C_0. Néanmoins pour L_0 et C_0 donnés, la longueur d'onde des harmoniques reste une fonction très régulièrement décroissante du rang de ces harmoniques. Nous allons voir qu'il n'en est plus de même pour une antenne formée de plusieurs tronçons de caractéristiques différentes à self-induction et à capacité réparties.

Notons que, s'il est possible de réaliser une capacité concentrée ayant très peu de self-induction, la notion de self-induction concentrée sans capacité est en général, pour les faibles longueurs d'ondes, une pure fiction. La preuve en est que les bobines de self-induction un peu importantes vibrent en bout libre pour des longueurs d'ondes qui sont parfois de l'ordre de grandeur des ondes à émettre ou à recevoir.

IV°. — **Antenne formée de deux tronçons homogènes de caractéristiques différentes.** — Soit l_1 la longueur du premier tronçon, l_2 la longueur du second,

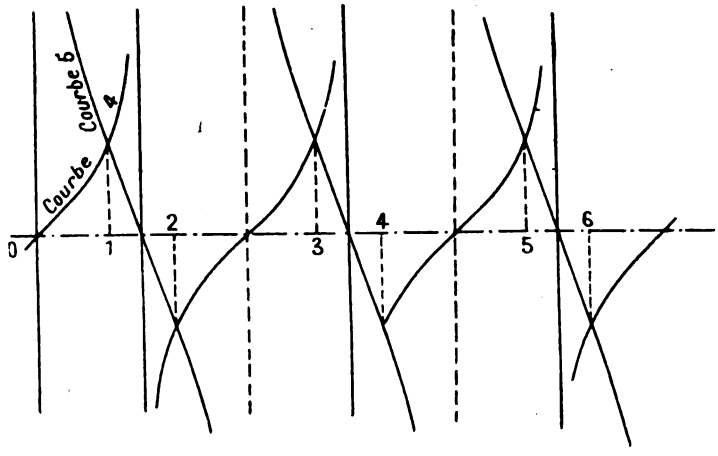


Fig. 5. — Harmoniques d'une antenne formée de deux tronçons homogènes quand $l_1 = l_2$ et $A > 1$.

L_1, L_2 leurs self-inductions par unité de longueur, C_1 et C_2 leurs capacités par unité de longueur; la propagation des ondes le long de l'antenne avec la vitesse de la lumière entraîne la relation $L_1 C_1 = L_2 C_2$.

Les longueurs d'onde de la fondamentale et des divers harmoniques sont données par les racines de l'équation (1)

$$(3) \qquad \operatorname{tg} \frac{2\pi l_1}{\lambda} \operatorname{tg} \frac{2\pi l_2}{\lambda} = \frac{L_2}{L_1} = \frac{C_1}{C_2} = A,$$

est fonction de l_1, de l_2 et de A.

Pour la mettre sous forme d'abaque, nous poserons

$$\frac{l_1}{\lambda} = z; \qquad \frac{l}{l_2} = x; \qquad A = y,$$

l'équation devient

$$(3^{bis}) \qquad \operatorname{tg} 2\pi z \operatorname{tg} 2\pi \frac{z}{x} = y.$$

On se donne différentes valeurs de z et on construit les courbes liant x à z pour ces valeurs de z.

Cet abaque est facile à construire pour la fondamentale, il devient inextricable si l'on veut y englober les harmoniques. L'équation (3 *bis*) ne semble pas être d'un type représentable par un abaque à points alignés, ce qui aurait permis une représentation du genre de celle que nous avons employée pour l'équation (2).

Connaissant A, L_1 et L_2 nous pouvons, par une construction graphique, déterminer les racines en λ de (3).

En effet on peut écrire (3)

$$\operatorname{tg} 2\pi z = y \operatorname{cotg} \frac{2\pi z}{x} = u.$$

Construisons les deux courbes

$$(4) \qquad u = \operatorname{tg} 2\pi z \quad \text{et} \quad u = y \operatorname{cotg} \frac{2\pi z}{x}, \qquad (5)$$

où $3 = \frac{l_1}{\lambda}$ est en abscisse et u en ordonnée pour plusieurs demi-circonférences.

Les abscisses des points d'intersection donnent les valeurs de $\frac{l_1}{\lambda}$ des différents harmoniques.

Cas particuliers — 1° Si $A = 1$, nous retombons dans le cas de l'antenne homogène;

2° Supposons $L_1 = L_2$ et A très grand par rapport à l'unité, ce qui revient à dire que le deuxième tronçon a une self-induction unitaire très grande par rapport à celle du premier tronçon.

La tangente à la courbe (5) en ses points d'ordonnées nulles pourra avoir un coefficient angulaire très grand. D'autre part, elle coupera l'axe des abscisses en un point voisin de l'asymptote de la courbe (4). On voit sur la figure 5 que les racines 1 et 2 pourront être aussi rapprochées que l'on voudra; on pourra donc

(1) On trouvera la démonstration de cette formule dans l'article déjà cité de M. Chireix.

Digitized by Google

obtenir des longueurs d'ondes assez voisines par groupes de deux, les groupes se succédant régulièrement.

Dans l'ensemble, si le rapport $\frac{l_1}{l_2}$ et A sont quelconques, les différents harmoniques varieront de façon irrégulière et l'on pourra en trouver des couples assez rapprochés.

Le problème se complique encore si l'antenne est formée de plus de deux tronçons, mais les phénomènes restent qualitativement les mêmes.

ANALOGIE MÉCANIQUE DES PHÉNOMÈNES PRÉCÉDENTS. — Si nous considérons l'antenne et son image, elle est assimilable à une corde vibrante dont les deux extrémités sont fixées. Il y a pourtant une différence. Une corde vibrante peut avoir un nœud de vibration au milieu, l'antenne y a toujours un ventre de courant. Ce fait élimine la moitié des harmoniques. On peut grosso modo assimiler la self-induction concentrée à une masse fixée au milieu de la corde et la capacité concentrée à un ressort sans masse placé au milieu de la corde.

Le cas d'une antenne à deux tronçons est assimilable à une corde dont les deux parties extrêmes égales sont formées d'un fil de même masse et de même élasticité, et dont la partie médiane est formée d'une portion de fil de masse et d'élasticité différentes.

L. DUBAR,
E. C. P. et E. S. E, Licencié ès Sciences,
Ingénieur à la Société Française Radio-Electrique.

Revues, analyses et informations

Théorie de l'amplificateur thermo-ionique (1).

I. — INTRODUCTION. — On sait que l'amplificateur thermo-ionique est constitué essentiellement par une ampoule où l'on a fait le vide, contenant une cathode incandescente, une anode disposée à une certaine distance de la cathode, et une troisième électrode ou électrode auxiliaire, en forme de grille mise entre les deux.

La cathode consiste habituellement en un filament qui peut être rendu incandescent par le passage d'un courant. Si l'anode est positive par rapport au filament, les électrons émis par le filament se déplacent vers l'anode et le courant qui s'établit ainsi dans le circuit extérieur reliant le filament à l'anode varie avec le potentiel appliqué à l'électrode auxiliaire.

De nombreuses recherches ont été faites sur le fonctionnement et les applications de l'amplificateur thermo-ionique. L'auteur mentionne que H.-D. Arnold a établi, comme condition de bon fonctionnement de l'appareil comme relais téléphonique, la nécessité d'opérer dans un vide tel que l'ionisation par collision des molécules du gaz résiduel soit inappréciable; or il est difficile de maintenir une décharge stable et facile à reproduire quand l'ionisation par choc est appréciable et ces conditions sont indispensables pour un relais téléphonique.

Il est actuellement impossible d'éliminer entièrement l'ionisation par choc toutefois le nombre des ions positifs produits par la décharge dans les dispositifs de ce genre peut être aisément mesuré même quand la pression ne dépasse pas 10^{-7} mm de mercure. Mais pour l'amplificateur, il est toujours possible de l'actionner dans des conditions telles que le nombre d'ions positifs dus à l'ionisation par choc soit faible par rapport au nombre d'électrons qui vont de la cathode à l'anode.

L'auteur suppose cette condition réalisée. La théorie qu'il donne a pu être utilisée par lui, avec une précision suffisante, au calcul des circuits contenant des amplificateurs thermo-ioniques. Il est difficile de réaliser à la fois un bon rendement et un fonctionnement satisfaisant du dispositif sans un calcul mathématique explicite de ce fonctionnement. Considérons, par exemple, le cas où le dispositif est utilisé comme relais pour les courants téléphoniques. Un bon relais doit non seulement amplifier la puissance reçue (au moyen d'une source locale), mais être capable de transmettre une puissance suffisante et avoir une impédance définie qui convienne à l'impédance de la ligne téléphonique. A moins que l'amplificateur ne soit convenablement combiné, il ne remplira pas ces conditions et pourra produire une distorsion suffisante pour rendre le dispositif inutilisable comme relais téléphonique. Au contraire, un amplificateur convenablement construit peut remplir les conditions précédentes d'une manière satifaisante.

II. — CARACTÉRISTIQUES COURANT-TENSION DES DISPOSITIFS THERMO-IONIQUES SIMPLES. — Considérons un dispositif constitué par une cathode incandescente et une anode disposées dans une ampoule où l'on réalisé un vide tel que le gaz résiduel ne puisse jouer aucun rôle dans le courant de convection allant de la cathode à l'anode. Le nombre des électrons émis par la cathode est fonction de sa température.

Si tous les électrons émis par la cathode passent sur l'anode la relation entre le courant résultant I et la température cathodique T est représentée par une courbe analogue à celle de la figure 1 ; les résultats portés sur cette courbe ont été obtenus en maintenant entre la cathode et l'anode une différence de potentiel suffisante pour amener à l'anode tous les électrons émis par la cathode ; autrement dit I représente le courant de saturation. Cette courbe a pour équation

$$I = a T^2 e^{-\frac{b}{T}}, \qquad (1)$$

a et b désignant des constantes (Richardson).

Si l'on maintient la cathode à une température constante T_1 et qu'on fasse croître la tension entre l'anode et la cathode (fig. 2), le courant I entre l'anode et la cathode augmente d'abord (OA_1), puis tend à devenir constant (A_1B_1) : la saturation est atteinte. Pour une température de la cathode plus élevée T_2, on obtient la courbe OA_2B_2, etc.

(1) H.-J. VAN DER BYL. *Physical Review*, septembre 1918, 2e série IJ t. XII, p. 171-198, 9000 mots, 16 fig. 2 tab.

Digitized by Google

Dans les conditions où l'équation de Richardson est applicable, le courant est indépendant de la tension : le dispositif ne pourrait fonctionner comme amplificateur, le fonc-

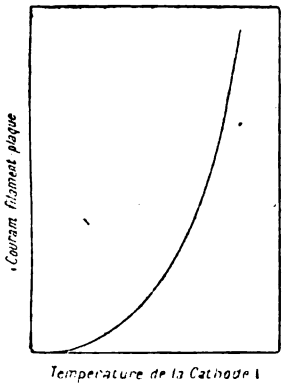


Fig. 1.

tionnement d'un amplificateur dépendant de la variation de courant que produit une variation de tension. C'est seulement sur la partie OA des courbes de la figure 2 que le courant dépend de la tension, celle-ci n'étant pas suffisante pour attirer sur l'anode tous les électrons émis par la cathode.

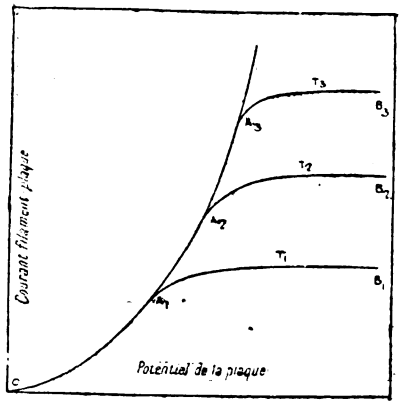


Fig. 2.

D'après C.-D. Child (1) cette limitation du courant tient à l' « électrisation de l'espace » que produisent les électrons qui se trouvent entre l'anode et la cathode. En supposant qu'il n'existe que des ions d'un même signe, Child a établi l'équation

$$(2) \qquad I = \frac{1}{9\pi}\sqrt{\frac{2e}{m}}\cdot\frac{V^2}{x^2},$$

où I représente le courant thermo-ionique par cm² de la cathode, V la différence de potentiel entre l'anode et la cathode, x la distance entre l'anode et la cathode, e et m la charge et la masse ioniques.

L'équation a été obtenue dans l'hypothèse que la cathode et l'anode sont sur des surfaces équipotentielles d'étendue infinie. Les équations qui conviennent au cas où la cathode est constituée par un filament et ne peut faire partie d'une surface équipotentielle ont été établies théoriquement par W. Wilson. Quand l'extrémité négative du filament est reliée à l'anode par l'intermédiaire de la batterie E, et que cette extrémité est prise comme point de potentiel zéro, V_0 désignant le potentiel de l'extrémité positive du filament et V celui de l'anode, Wilson arrive aux équations

$$(3) \qquad I = \frac{2}{5}\,ke\,\frac{V^{\frac{3}{2}}}{V_0}\left[1-\left(1-\frac{V_0}{V}\right)^{\frac{5}{2}}\right], \quad \text{si} \quad V > V_0;$$

$$(4) \qquad I = \frac{2}{5}\,\frac{ke\,V^{\frac{3}{2}}}{V_0}, \quad \text{si} \quad V < V_0,$$

k désignant une constante et e la charge élémentaire.

Quand l' « électrisation de l'espace » exerce son plein effet, le courant est indépendant de la température de la cathode. C'est ce qu'on peut voir par les courbes de la figure 3 qui représentent le courant en fonction de la tem-

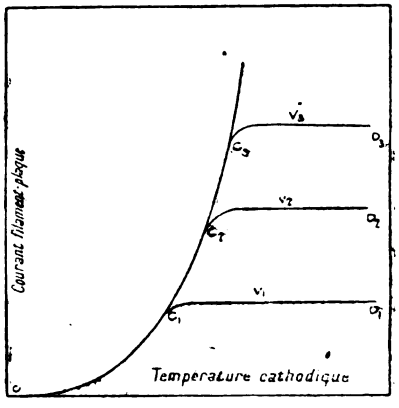


Fig. 3.

pérature de la cathode pour différentes tensions appliquées entre l'anode et la cathode. Considérons une certaine valeur V_1 de la tension ; quand la température est basse, la tension V_1 est suffisante pour attirer sur l'anode tous les électrons émis par la cathode et un accroissement de la température entraîne un accroissement du courant : cet intervalle est représenté sur la figure 3 par la portion de courbe OC_1 ; quand est atteinte la température correspondant au point C_1, le grand nombre d'électrons présents entraîne une électrisation de l'espace suffisante pour repousser les autres électrons émis qui retournent au filament ; un nouvel accroissement de la température à partir de C_1 n'entraîne pas de nouvel accroissement du courant (partie horizontale C_1D_1). Pour une tension supérieure V_2, le courant augmente, puisqu'un plus grand nombre d'électrons peuvent être entraînés hors du filament par la tension.

La portion OC des courbes de la figure 3 correspond aux portions AB de la figure 2 et les portions CD de la figure 3, à la partie OA de la figure 2.

Il importe de remarquer que l'amplificateur thermo-ionique fonctionne sous des conditions qui correspondent au cas où la tension appliquée n est pas suffisante pour donner le courant de saturation.

III. — Influence d'un gaz résiduel sur la caractéristique. — L'auteur suppose au cours de son étude qu'aucune ionisation par choc appréciable ne se produit dans l'amplificateur. Afin de voir sous quelles circonstances cette con-

(1) C.-D. Child. *Phys. Rev.*, t. xxvii, p. 498.

Digitized by Google

dition peut être réalisée, il considère les différents moyens par lesquels la présence d'un gaz peut influencer la décharge.

1° La présence de gaz dans l'espace compris entre la cathode et l'anode, lorsque la tension appliquée dépasse une faible valeur, produira l'ionisation par choc. Cet effet (*effet volume*) entraîne une augmentation du nombre des électrons arrivant sur l'anode et ainsi augmente le courant.

2° L'occlusion de gaz à la surface de la cathode peut avoir pour conséquence soit un accroissement, soit une diminution du nombre des électrons émis par la cathode (*effet surface*) : ainsi l'hydrogène occlus dans une cathode de platine entraîne une augmentation du nombre des électrons émis, tandis que l'oxygène occlus dans une cathode recouverte de chaux diminue le nombre des électrons. Comme le nombre des électrons émis par la cathode est mesuré par le courant de saturation (AB, fig. 2), l'effet surface influe sur le courant de saturation.

3° Sous l'influence de l'élévation de température produite par la dissipation d'énergie dans le fonctionnement, l'anode et les parois de l'ampoule peuvent libérer des gaz occlus. L'ionisation par choc peut ainsi devenir possible. La tension et le courant pour lesquels une augmentation préjudiciable du courant peut se produire, dépendent, naturellement, de la manière dont les électrodes et les parois ont été privées de gaz pendant l'épuisement.

Sur la figure 4, la courbe OB représente la relation entre e courant et la tension pour une température définie de la

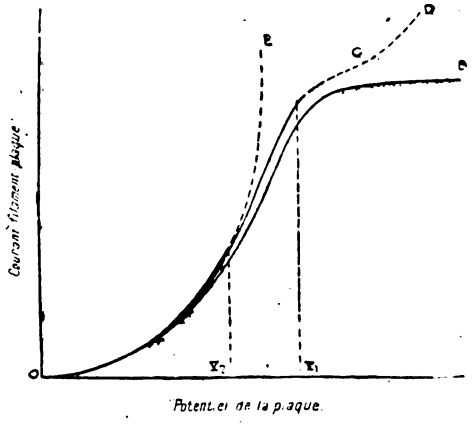


Fig. 4.

cathode quand le vide est supposé parfait, que les électrodes et les parois ont été privées de gaz.

Si le vide est moins poussé et si les électrodes n'ont pas été complètement privées de gaz à mesure que la tension augmente, l'élévation de température de l'anode due au bombardement par les électrons libère une quantité de plus en plus grande de gaz.

L'ionisation par choc peut alors devenir possible et entraîner ainsi un accroissement très appréciable du courant : c'est ce qu'on observe sur la courbe OCD, à partir du point C. Pour une pression initiale plus élevée et une plus grande quantité de gaz occlus, on peut obtenir une courbe telle que OE.

Quand l'ionisation par choc devient appréciable, le dispositif devient d'un fonctionnement capricieux et il est presque impossible de reproduire les courbes quand la tension augmente au delà des portions de courbes tracées en pointillé sur la figure 4. Les courbes de la figure 4 ne doivent donc être envisagées que comme donnant l'allure des phénomènes. Si l'on considère la courbe OB relative au vide parfait, on voit que le tube doit toujours fonctionner (quand il est utilisé comme amplificateur) sur une tension inférieure à V_1. Pour une faible quantité de gaz présente, le dispositif, dont la caractéristique est OCD, peut encore être actionné jusqu'à la tension V_1. Dans le troisième cas, la tension ne doit pas dépasser V_2.

Il résulte des considérations précédentes cette conséquence intéressante qu'un dispositif contenant une quantité appréciable de gaz peut être actionné sous des conditions telles que sa caractéristique, dans l'intervalle admissible de tensions, soit pratiquement la même que pour un dispositif hypothétique dans lequel le vide serait parfait. Mais si l'on veut obtenir une décharge stable et facile à reproduire, la présence de gaz limite l'intervalle dans lequel la tension doit rester comprise et limite ainsi la puissance que peut fournir le dispositif. La limitation de la puissance de l'amplificateur thermo-ionique dépend également d'autres facteurs qui tiennent à la structure du dispositif et qu'on discutera plus loin.

IV. — Action de l'électrode auxiliaire. — Jusqu'ici on a considéré le cas d'un dispositif électronique simple comprenant une anode et une cathode. L'addition d'une troisième électrode complique le fonctionnement.

L'insertion d'une troisième électrode permettant de régler le courant entre la cathode et l'anode est due à De Forest (1). Plus tard, De Forest donna à l'électrode auxiliaire la forme d'une grille disposée entre l'anode et la cathode (2). Vers la même époque, von Bayer (3) a utilisé une électrode auxiliaire ayant la forme d'une toile métallique.

L'action quantitative de l'électrode auxiliaire a tout d'abord été étudiée par l'auteur lui-même (4).

Pour avoir une idée de l'action exercée par l'électrode auxiliaire, considérons le circuit représenté sur la figure 5 :

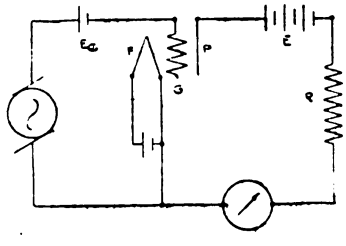


Fig. 5.

F désigne la cathode, P l'anode et G l'électrode auxiliaire en forme de grille disposée entre F et P. Supposons nul le potentiel de F et celui de P maintenu positif par la batterie E; supposons E_c nul pour le moment. Bien qu'il n'existe aucune différence de potentiel entre F et G, le champ électrique n'est pas nul entre F et G; il a une valeur finie qui dépend du potentiel de P. Cela tient à ce que le potentiel de P produit un champ qui agit à travers les ouvertures de la grille. Si l'on désigne par E_B le potentiel de P, le champ en un point voisin de F est égal à celui que produirait une différence de potentiel γE_B appliquée direc-

(1) De Forest. *Brevet américain* n° 841.387, 1907.
(2) De Forest. *Brevet américain* n° 879.532, 1908.
(3) Von Baeyer. *Verh. d. D. Phys. Ges.*, 1908, t. VII, p. 109.
(4) Van der Bijl. *Verh. d. D. Phys. Ges.*, mai 1913, p. 338.

Digitized by Google

tement entre F et un plan imaginaire qui coïnciderait avec celui de la grille G, γ désignant une constante qui dépend de la structure et de la position de la grille. Si la grille est à réseau très fin, γ est voisin de zéro et si la grille est enlevée (cas d'une soupape Fleming), γ est égal à l'unité.

En représentant par E_s le potentiel équivalent de la grille, les résultats précédents peuvent être traduits par l'équation suivante

$$E_s = \gamma E_B + \varepsilon; \tag{5}$$

ε est un terme assez faible qui dépend d'un certain nombre de facteurs tels que la différence de potentiel de contact entre la cathode et la grille, la puissance développée dans le filament, etc, et qui est généralement de l'ordre d'un volt et on peut la négliger quand elle est faible vis à vis de γE_B. Evidemment, le courant entre l'anode et la cathode dépend de la valeur de E_s.

Supposons maintenant qu'on porte la grille à un potentiel E_c, la cathode restant au potentiel zéro. Le courant devient une fonction de E_s et de E_c.

$$I = \Phi (E_s, E_c).$$

Avant de déterminer la forme de cette fonction, considérons d'une manière générale comment le courant est affecté par E_s et E_c. Nous avons vu que le terme E_s provient de la tension E_B entre l'anode et la cathode, et qu'il est inférieur à E quand on dispose la grille entre l'anode et la cathode, puisque dans ce cas γ est toujours inférieur à l'unité. Sous l'influence de E_s, les électrons sont entraînés à travers les ouvertures de la grille et vont frapper l'anode grâce au champ intense existant entre la grille et l'anode. L'influence de E_c sur le mouvement des électrons entre F et G est analogue à celle de E_s. Les électrons seront ou non entraînés hors de la cathode suivant la valeur résultante de E_s et de E_c. Pour $E_s + E_c > 0$, les électrons seront entraînés hors de la cathode ; pour $E_s + E_c \leq 0$, tous les électrons émis retourneront à la cathode et le courant dans l'ampoule sera réduit à zéro. Or $E_s + E_c$ sera positif : 1° si E_c est positif (E_s est toujours positif); 2° si E_c est négatif et moindre que E_s.

1. Quand E_c est positif, quelques-uns des électrons qui se déplacent vers la grille restent sur la grille, tandis que les autres passent à travers les ouvertures de la grille pour aboutir à l'anode sous l'influence de E_s. Le rapport entre le nombre des électrons qui se sont arrêtés et celui des électrons qui traversent la grille dépend des mailles de la grille, du diamètre du fil qui la constitue et des valeurs relatives de E_s et E_c. Quand, par exemple, E_s est grand par rapport à E_c, le nombre d'électrons aboutissant à la grille est relativement faible, mais pour une valeur déterminée de E_s, le courant dans le circuit filament-grille augmente rapidement avec E_c^2. Ainsi, pour des valeurs positives de E_c un courant s'établira dans le circuit FGE_c de la figure 5.

2. Si au contraire E_c est négatif et inférieur à E_s, presque tous les électrons échappés du filament aboutiront à la plaque, aucun ne restant sur la grille. Dans ce cas, la résistance du circuit FGE_c est infinie.

Si maintenant l'on imprime une force électromotrice alternative à la grille de manière qu'elle devienne tour à tour positive et négative par rapport à la cathode, la résistance du circuit FGE_c sera infinie pour les alternances négatives et prendra une valeur variable, mais finie, pour les alternances positives. Si, au contraire, la force électromotrice alternative se superpose à la valeur négative E_c, les valeurs de ces potentiels étant choisies de manière que le potentiel résultant de la grille soit toujours négatif par rapport à celui de la cathode, l'impédance du circuit est toujours infinie.

D'une manière générale, le fonctionnement de l'amplificateur thermo-ionique est le suivant : Le courant dans le circuit filament-plaque est fonction de E_s et de E_c, ou bien, si l'on maintient constant le potentiel E_B de la plaque, le courant, quelle que soit la structure particulière du dispositif, n'est fonction que du potentiel de la grille. Par suite, si les oscillations à reproduire sont appliquées entre le filament et la grille, les variations de la différence de potentiel qu'elles provoquent entre le filament et la grille entraînent des variations du courant dans le circuit FPR, la puissance développée dans la charge R étant supérieure à celle qu'on fournit à l'appareil. On voit que le dispositif fonctionne en gros comme un relais dans lequel les variations qui se produisent dans l'un des circuits entraînent des variations amplifiées dans un autre circuit accouplé d'une manière unilatérale avec le premier.

V. — Caractéristique courant-tension de l'amplificateur thermo-ionique. — Il est important, en vue d'établir les équations relatives au pouvoir amplificateur, d'obtenir la relation correcte entre le courant dans le circuit d'utilisation de l'amplificateur et les potentiels de la grille et de l'anode. Le courant est, comme on l'a vu, une fonction à la fois de E_s et de E_c, E_s dépendant de la tension entre la cathode et l'anode, de la structure de la grille et de la distance entre la grille et l'anode.

Dans l'amplificateur qu'on envisage, la cathode n'est pas une surface équipotentielle ; elle consiste en un filament rendu incandescent par le passage d'un courant. Le calcul théorique de la relation entre le courant filament-plaque et les tensions filament-grille et filament-plaque est difficile et conduit à des expressions très compliquées. L'auteur a trouvé empiriquement qu'on pouvait représenter la caractéristique par l'équation.

$$I = \alpha (E_s + E_c)^2, \tag{7}$$

α désignant une constante qui dépend de la construction du dispositif. En tenant compte de l'équation (5), on obtient

$$I = \alpha (\gamma E_B + E_c + \varepsilon)^2. \tag{8}$$

Cette équation donne le courant dans le circuit filament-plaque en fonction des potentiels de la plaque et de la grille, celui du filament étant nul. Si on fait agir sur la grille et sur la plaque des tensions d'origines diverses, on aura d'une manière générale

$$I = \alpha (\gamma \Sigma E_B + \Sigma E_c + \varepsilon)^2. \tag{9}$$

Si, par exemple, on superpose une force électromotrice alternative $e \sin pt$ à la différence de potentiel filament-grille E_c, l'équation devient

$$I = \alpha (\gamma E_B + E_c + e \sin pt + \varepsilon)^2. \tag{10}$$

E_B, dans l'équation (8), représente la tension appliquée entre le filament et la plaque P (fig. 5). Si la résistance R est nulle, E_B est égal à E, tension de la batterie dans le circuit E P R E, qui est constante. Si la résistance B n'est pas nulle, la différence de potentiel établie entre ses extrémités par le courant qui la traverse rend E_B fonction du courant.

Digitized by Google

On expliquera plus loin l'influence de la résistance R sur la caractéristique et on peut se borner, pour la discussion, au cas où R est nul.

L'équation (8) est représentée graphiquement sur la figure 6. Les courbes donnent le courant filament-plaque en

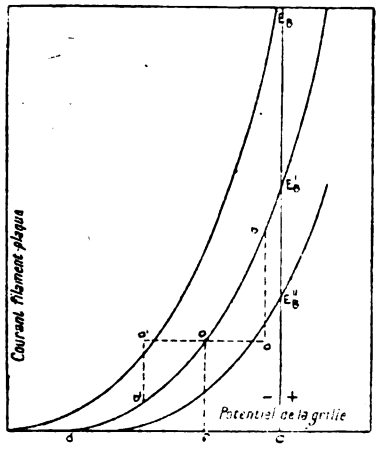


Fig. 6.

fonction du potentiel E_C de la grille pour différentes valeurs du paramètre E_B.

D'après l'équation (8) et la figure 6, on voit que le courant reste fini pour les valeurs négatives du potentiel de la grille E_c et s'annule seulement pour

$$E_c = -(\gamma E_B + \varepsilon).$$

Les dérivées partielles de I respectivement par rapport à E_B, puis à E_c sont

$$\frac{\partial I}{\partial E_B} = 2\alpha\gamma(\gamma E_B + E_c + \varepsilon) = Q, \tag{11}$$

$$\frac{\partial I}{\partial E_c} = 2\alpha(\gamma E_B + E_c + \varepsilon) = S, \tag{12}$$

d'où

$$\frac{Q}{S} = \gamma = \text{const.} \tag{13}$$

Pour un couple de valeurs déterminées de E_B et de E_c, une certaine variation du potentiel E_B de la plaque produit une variation du courant γ fort supérieure à celle que donnerait la même variation du potentiel E_c de la grille.

L'impédance R_0 du circuit d'utilisation est donnée par

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} \frac{\partial I}{\partial E_B}\,dt,$$

d'où

$$R_0 = \frac{1}{2\alpha\gamma(\gamma E_B + E_c + \varepsilon)}, \tag{14}$$

qu'on peut écrire, en multipliant haut et bas par

$$\gamma E_B + E_c + \varepsilon,$$

$$R_0 = \frac{\gamma E_B + E_c + \varepsilon}{2\alpha\gamma(\gamma E_B + E_c + \varepsilon)^2}.$$

En tenant compte de l'équation (8), R_0 devient

$$R_0 = \frac{E_B + \mu_0(E_c + \varepsilon)}{2I}, \tag{15}$$

en posant

$$\mu_0 = \frac{1}{\gamma}. \tag{16}$$

Nous verrons que μ_0 est l'amplification maximum de tension que peut fournir le dispositif.

En comparant (14) et (11) on voit que

$$R_0 = \frac{1}{Q},$$

et, par suite, de (13) et 16), on déduit que le coefficient angulaire de la tangente à la courbe (I, E_c) est donné par

$$S = \frac{\mu_0}{R_0}. \tag{13a}$$

Cette constante est très importante. On verra plus loin que la qualité du dispositif est déterminée par la valeur de S, c'est-à-dire le coefficient angulaire de la courbe représentant le courant filament-plaque en fonction du potentiel appliqué à la grille.

VI. — Vérification expérimentale de l'équation de la caractéristique. — Pour vérifier expérimentalement l'équation (8), il faut connaître les valeurs des constantes γ et ε. Ces deux constantes peuvent être déterminées par des méthodes qui ne dépendent pas de l'exposant de l'équation. La relation (5)

$$E_c = -\gamma E_B + \varepsilon, \tag{5}$$

qui est comprise dans l'équation (8) est également indépendante de l'exposant. Les constantes γ et ε peuvent être déterminées et la relation (5) vérifiée de la manière suivante :

Introduisons dans l'équation (8) un exposant arbitraire β.

$$I = \alpha(\gamma E_B + E_c + \varepsilon)^\beta. \tag{8a}$$

Si l'on envisage le cas général où E_B et E_c sont tous deux variables, on a

$$\frac{dI}{dE_c} = \frac{\partial I}{\partial E_B}\frac{dE_B}{dE_c} + \frac{\partial I}{\partial E_c},$$

or,

$$\frac{\partial I}{\partial E_B} = \alpha\beta\gamma(\gamma E_B + E_c + \varepsilon)^{\beta-1},$$

$$\frac{\partial I}{\partial E_c} + \alpha\beta(\gamma E_B + E_c + \varepsilon)^{\beta-1},$$

d'où

$$\frac{dI}{dE_c} = \alpha\beta(\gamma E_B + E_c + \varepsilon)^{\beta-1}\left(\gamma\frac{dE_B}{dE_c} + 1\right).$$

Supposons maintenant I constant. On a : soit

$$\gamma E_B + E_c + \varepsilon = 0,$$

Digitized by Google

c'est-à-dire,

$$-E_c = \gamma E_B + \varepsilon = E_s, \tag{18}$$

soit,

$$\frac{dE_B}{dE_c} = -\frac{1}{\gamma},$$

en intégrant et posant $-\frac{1}{\gamma} = \mu_0$, on obtient

$$E'_B = E_B + \mu_0 E_c. \tag{19}$$

Les relations (18) et (19) sont donc indépendantes de l'exposant admis dans (8).

L'équation (18), est relative au cas où le courant garde une valeur constante nulle. Elle indique que E_s, dans l'équation (5), représente simplement la valeur absolue du potentiel E_c de la grille qui suffit à réduire à zéro le courant filament-plaque quand la plaque est au potentiel E_B. (Les potentiels sont rapportés à celui du filament qu'on suppose mis au sol.) En se reportant à la figure (6), on voit que l'équation (18) exprime la relation entre les intersections des courbes avec l'axe des abscisses et les valeurs correspondantes des potentiels de l'anode E_B.

Sur la figure 7 on a reproduit quelques résultats obtenus avec un amplificateur thermo-ionique.

Le facteur μ_0 qui joue un rôle très important dans la théorie de l'amplificateur thermo-ionique peut être déterminé plus facilement et avec une précision plus grande par l'équation (19) qui exprime la relation nécessaire entre les potentiels de la plaque et de la grille pour que le courant se maintienne à une valeur convenable quelconque.

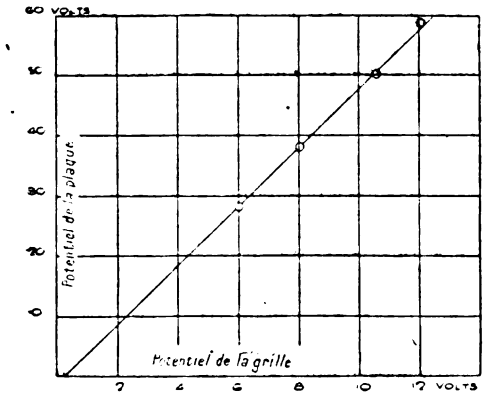


Fig. 7.

Sur la figure 8 on a représenté quelques résultats expérimentaux obtenus en appliquant des potentiels différents E_B à l'anode et réglant en même temps le potentiel E_c de la grille de manière à maintenir constant le potentiel de l'anode : les résultats expérimentaux se placent bien sur une droite dont le coefficient angulaire conduit à la valeur $\mu_0 = 5{,}1$.

L'équation (13) fournit une autre méthode permettant de calculer μ_0

$$\frac{Q}{S} = \gamma = \frac{1}{\mu_0}, \tag{13}$$

S représente le coefficient angulaire de la tangente à la courbe courant filament-plaque en fonction du potentiel de la grille, et Q celui de la courbe du même courant en fonction du potentiel de la plaque. Comme ces deux coefficients angulaires dépendent des potentiels de la plaque et de la grille, il faut les mesurer pour les mêmes valeurs de E_B et de E_c. Cette méthode fournit des valeurs très convenables

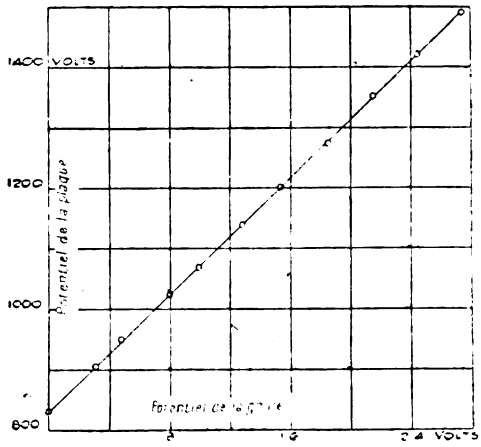


Fig. 8.

de μ_0, mais n'est pas d'une application aussi aisée que la précédente.

On a vérifié l'équation fondamentale (8) de la manière suivante :

On applique à la grille un potentiel négatif convenable et maintenu constant, en même temps qu'on note le courant filament-plaque pour différentes valeurs du potentiel de la plaque, le potentiel du filament demeurant nul. La grille étant négative par rapport au filament, aucun courant ne peut s'établir dans le circuit filament-grille. Le courant filament-plaque est mesuré par un ampèremètre disposé dans le circuit FPE de la figure 5 ; il n'y a pas dans le circuit d'autre résistance que celle de l'ampèremètre qui est faible par rapport à celle du circuit d'utilisation de l'amplificateur, en sorte que la tension E de la batterie est constamment égale à E_B, tension entre le filament et la plaque. Les valeurs observées du courant et de la tension donnent donc la véritable caractéristique de l'amplificateur lui-même. De la courbe donnant le courant en fonction du potentiel anodique, on peut déduire la valeur de ce potentiel pour laquelle le courant s'annule. Ce potentiel dépend naturellement de celui de la grille.

Posant, par suite $I = 0$ dans l'équation (8), on obtient

$$\gamma E_B + E_c + \varepsilon = 0;$$

d'où, comme

$$\gamma = \frac{1}{\mu_0},$$

$$\varepsilon = -\left(\frac{E_B}{\mu_0} + E_c\right);$$

μ_0 peut être déterminé par une des méthodes exposées ci-dessus, d'où résulte la valeur de ε.

Sur la figure 9 on a reproduit une caractéristique type d'amplificateur thermo-ionique, dans ce cas la grille était maintenue à un potentiel de — 5 v par rapport au filament.

Digitized by Google

Avec les valeurs connues de μ_0 et de ε, on peut représenter le courant I en fonction de l'expression

$$\left(\frac{E_B}{\mu_0} + E_c + \varepsilon\right)^2, \tag{20}$$

pour des valeurs arbitraires de E_c, E_B étant maintenu cons-

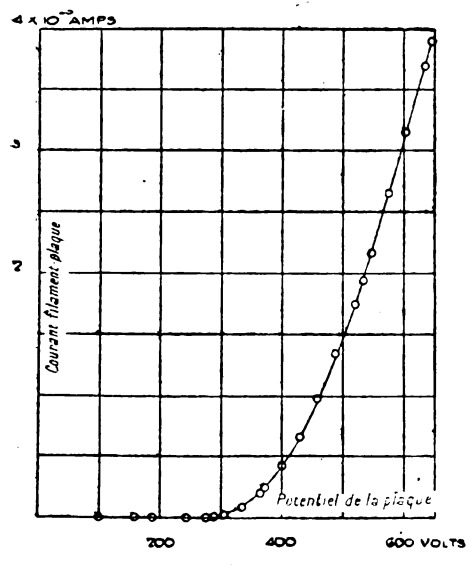


Fig. 9.

tant. Les courbes de la figure 10 montrent avec quelle précision l'équation (8) est vérifiée.

L'accord a été aussi bon avec un tube spécialement construit pour permettre de vérifier la relation parabolique

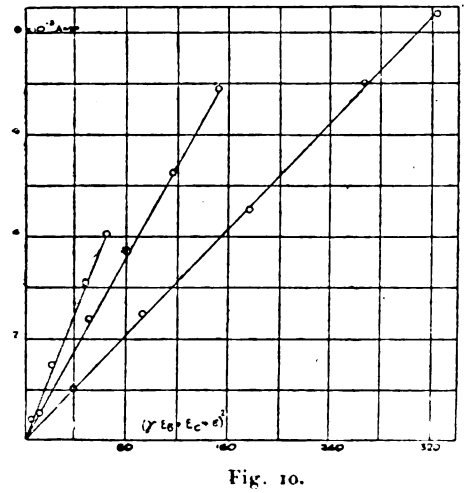


Fig. 10.

entre le courant et la tension jusqu'à des tensions plus élevées. Ce tube contenait un filament court, d'environ 2,5 cm de longueur et, comme anode, une plaque circulaire de 2,5 cm de diamètre disposée à 2 cm du filament. L'électrode auxiliaire consistait en une fine toile métallique disposée entre le filament et l'anode, à une distance de 6 mm du filament. La grille était maintenue à un potentiel négatif constant égal à — ε. Sur la figure 11, qui donne les résultats obtenus avec le tube, on a représenté, d'une part, la variation du courant en fonction de E_B, d'autre part, la

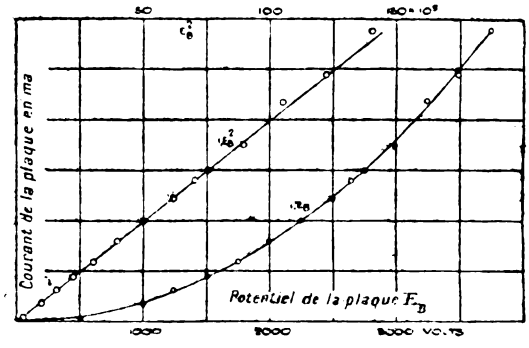


Fig. 11.

variation du courant en fonction de E^2_B (ligne droite) : on voit que la relation parabolique est vérifiée.

— VII. Caractéristique d'un circuit renfermant l'amplificateur thermo-ionique mis en série avec une résistance ohmique. — En discutant la manière dont se comporte l'amplificateur thermo ionique dans un circuit à courant alternatif, l'auteur fait 2 hypothèses :

1° Le courant alternatif établi dans le circuit FPER (fig. 5) est une fonction linéaire de la tension appliquée au circuit d'arrivée FGE$_c$. Ceci implique que le pouvoir amplificateur est indépendant de la puissance appliquée. C'est la condition de fonctionnement d'un amplificateur idéal.

2° L'amplificateur thermo-ionique ne présente aucun effet de réactance. Ceci implique que, si on introduit l'amplificateur dans un circuit non inductif, l'amplification produite est indépendante de la fréquence.

Aucune preuve n'est nécessaire pour établir la validité de la deuxième hypothèse. Toutefois, la première n'est vraie que sous certaines conditions qu'il reste à déterminer. Supposons nulle la résistance extérieure du circuit d'utilisation F P E (fig. 5) et la résistance de l'ampèremètre négligeable vis-à-vis de celle de l'amplificateur lui-même. Sous ces conditions, la tension E_B qui désigne la différence de potentiel entre le filament et l'anode est indépendante du courant dans le circuit F P E et toujours égale à la tension E de la batterie du circuit. Par suite, si l'on représente le courant en fonction de E_c, différence de potentiel entre le filament et la grille, on obtient la parabole représentée par l'équation (8) et tracée sur la figure 6. Si, maintenant, on fait varier le potentiel de la grille d'une valeur cf (fig. 6) à partir de E_c, il apparaît comme évident, sur la courbe, que l'accroissement ab du courant filament-plaque dû à une diminution oa du potentiel négatif de la grille est supérieur à la diminution a b' de courant produite par un accroissement égal oa' du potentiel négatif de la grille. Dans ce cas, le courant d'utilisation est, en désignant par $e \sin pt$ la tension alternative superposée à E_c,

$$I_0 = \alpha(\gamma E_B + E_c + \varepsilon + e \sin pt)^2, \tag{10}$$

d'où, en développant,

$$I_0 = \alpha(\gamma E_B + E_c + \varepsilon)^2 + 2\alpha\gamma E_B + E_c + \varepsilon)\, e \sin pt + \frac{\alpha e^2}{2} \cos(2pt + \pi + \frac{\alpha e^2}{2}. \tag{21}$$

Digitized by Google

Le premier terme dans le second membre représente le courant continu permanent entretenu par les potentiels E_B et E_c quand la tension alternative est nulle (équation 8). Le second donne le courant d'utilisation alternatif qui a la même fréquence que la tension alternative appliquée et est en phase avec elle. Quand on utilise le dispositif comme amplificateur, c'est le seul courant utile qu'on ait à envisager. Le premier harmonique représenté par le troisième terme existe comme on pouvait le prévoir, d'après la caractéristique parabolique. Le dernier terme, proportionnel au carré de la tension appliquée, représente la variation du courant continu due à la tension alternative appliquée et c'est le seul courant qui soit efficace quand on utilise le dispositif comme détecteur d'oscillations électriques. Si l'on insère un ampèremètre pour courant continu dans le circuit d'utilisation, il indique une valeur qui dépasse celle donnée par l'équation (8) d'une quantité égale à $\frac{\alpha e^2}{2}$, dernier terme de l'équation (21).

Supposons maintenant que le circuit d'utilisation contienne une résistance appréciable R. La différence de potentiel E_B entre le filament et la plaque n'est pas constante; on a

$$E_B = E - RI. \tag{22}$$

Afin d'obtenir la caractéristique du circuit contenant le tube et la résistance R, substituons (22) dans (10)

$$I = \alpha (\gamma (E - RI) + E_C + \varepsilon + e \sin pt)^2,$$

et posons $\gamma E + E_C + \varepsilon = V$. On obtient

$$I = \frac{1 + 2\alpha\gamma R(V + e\sin pt) - \sqrt{1 + 4\alpha\gamma R(V + e\sin pt)}}{2\alpha\gamma^2 R^2}. \tag{23}$$

On peut développer cette expression suivant une série de Fourier

$$I = 1 + 2\alpha\gamma RV - \sqrt{1 + 4\alpha\gamma VR} + \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 4\alpha\gamma RV}}\right)\frac{e}{\gamma R}\sin pt + (-1)^{n+1} 2^n \frac{(2n-1)\alpha^n \gamma^{n-1} R^{n-1} e^{n+1} \sin^{n+1} pt}{(n+1)\left(1 + 4\alpha\gamma RV\right)^{\frac{2n+1}{2}}}. \tag{24}$$

On voit que la convergence de la série augmente avec R. Des calculs effectués sur des exemples réels montrent que, lorsque le tube fonctionne sur une impédance égale ou supérieure à celle du tube, les harmoniques deviennent négligeables comparés au deuxième terme de (24) qui est le seul terme utile quand on emploie le tube comme amplificateur, en sorte qu'on peut supposer l'amplification indépendante de la tension appliquée.

Quand le tube fonctionne sur une résistance extérieure importante, il peut exercer un effet d'extinction sur le courant. C'est ce qu'on peut voir de la manière suivante : la tension E_B qui est efficace pour attirer les électrons de la grille sur la plaque est donnée par l'équation (22). Si on augmente le courant, non en augmentant la force électromotrice dans le circuit F P R (fig. 5), mais en augmentant la différence de potentiel entre le filament et la grille, le courant I augmente tandis que la force électromotrice E, dans le circuit filament-plaque, demeure constante; d'où il résulte que E_B doit décroître tandis que E_c, potentiel de la grille, augmente. Il en résulte que des électrons qui auraient, sans cela, traversé la grille vers l'anode sont attirés par la grille. Si la tension d'alimentation devient assez grande, le circuit anodique F P R peut être dépouillé d'un si grand nombre de ses électrons qu'il ne se produit aucun nouvel accroissement du courant dans le circuit filament-plaque, quel que soit l'accroissement du potentiel de la grille. Dans ces conditions, l'équation (24) ne s'applique pas. Son application est limitée aux conditions établies par les équations (25) et (26).

Même si la série représentée par le dernier terme de l'équation (24) est nulle, la transmission sans distorsion ne peut être obtenue que si la tension d'alimentation est maintenue entre certaines limites.

Supposons la tension d'alimentation $e \sin pt$ superposée au potentiel négatif E_C de la grille. Théoriquement, une condition de fonctionnement est que la grille ne soit jamais assez positive par rapport au filament pour qu'elle absorbe un courant appréciable, car si cela se produisait, le courant établi dans le circuit filament-grille abaisserait la tension d'alimentation et, par suite, l'amplification. On peut donc poser comme condition d'une transmission sans distorsion

$$e \leq |E_c| + |g|,$$

où g désigne le potentiel positif que peut prendre la grille sans absorber un courant suffisant pour entraîner la distorsion. Une autre condition est que la tension d'alimentation ne doit pas dépasser la valeur représentée par df (fig. 6) sinon les maxima négatifs du courant d'utilisation seraient éliminés. Or, cd est donné par $\gamma E_B + \varepsilon$. Ceci est obtenu en égalant à zéro le courant I dans l'équation (8). On a donc les conditions

$$\left.\begin{aligned} e &\leq |E_c| + |g| \\ e &\leq |\gamma E_B + \varepsilon| - |E_c|, \end{aligned}\right\} \tag{25}$$

ou quand le tube fonctionne à pleine charge

$$e = |E_c| + |g| = |\gamma E_B + \varepsilon| - |E_c|.$$

VIII. — Equations d'amplification de l'amplificateur thermo-ionique. — Admettons les deux hypothèses discutées au paragraphe précédent, à savoir que l'amplification est indépendante de la puissance d'alimentation et de la fréquence. On peut établir les équations d'amplification d'une manière très simple.

Reportons-nous à la figure 5 et supposons que le courant extérieur varie par suite de modifications apportées au potentiel de la grille E_c. Dans ces conditions, ainsi qu'on l'a indiqué dans le paragraphe précédent, E_B est aussi variable et est lié au courant I par

$$E_B = E - RI. \tag{22}$$

où E désigne la tension constante de la batterie dans le circuit d'utilisation EPER. On a donc

$$I = \Phi(E_B, E_c),$$

d'où l'on tire

$$\frac{dI}{dE_c} = \frac{\partial I}{\partial E_B} \cdot \frac{dE_B}{dE_c} + \frac{\partial I}{\partial E_c},$$

qui donne la variation du courant dans la résistance R en fonction de la variation du potentiel de la grille.

Digitized by Google

En tenant compte de (11) et de (12), la relation précédente devient

$$\frac{dI}{dE_c} = 2\alpha(\gamma E_B + E_c + \varepsilon)\left[\gamma\frac{d(E - RI)}{dE_c} + 1\right],$$

c'est-à-dire

$$\frac{dI}{dE_c} = \frac{2\alpha(\gamma E_B + E_c + \varepsilon)}{1 + 2\alpha\gamma R(\gamma E_B + E_c + \varepsilon)};$$

multipliant les deux nombres par R et posant $\gamma = \frac{1}{\mu_0}$, on a

$$R\frac{dI}{dE_c} = \frac{\mu_0 R}{R + \frac{E_B + \mu_0(E_c + \varepsilon)}{2I}}. \quad (27)$$

Or, $R\,dI$ est la variation de potentiel aux extrémités de la résistance R et dE_c la variation de la tension d'alimentation. Par suite, l'équation (27) donne l'amplification de la tension produite par le dispositif, nous la désignerons par μ.

En outre, on a établi, au paragraphe V, que l'impédance de l'amplificateur par rapport au circuit extérieur est donnée par

$$R_0 = \frac{E_B + \mu_0(E_c + \varepsilon)}{2I}; \quad (15)$$

l'amplification μ de la tension est

$$\mu = \frac{\mu_0 R}{R + R_0}, \quad (28)$$

On voit par cette équation que l'amplification de la tension s'approche asymptotiquement d'une valeur finie μ_0 qui est atteinte quand la résistance extérieure R devient infinie par rapport avec l'impédance R_0 de l'amplificateur pour le circuit extérieur.

Pour pouvoir calculer l'amplification de la puissance, il est nécessaire de connaître l'impédance de l'amplificateur par rapport au circuit d'alimentation, c'est-à-dire l'impédance du circuit FGE_c (fig. 5). Or, l'amplificateur est actionné, comme on l'a établi plus haut, dans des conditions telles qu'aucun courant n'est établi dans le circuit FEG_c. L'impédance de ce circuit est donc infinie et la puissance développée indéterminée.

Pour donner au circuit d'alimentation une résistance définie constante, M. Arnold a proposé de shunter le filament et la grille par une résistance élevée, qu'on peut considérer comme la résistance R_i du circuit d'alimentation de l'amplificateur ; la tension d'alimentation est la tension qui prend naissance entre les extrémités de cette résistance en dérivation.

Si maintenant on désigne par e et e_i les tensions établies entre les extrémités des résistances R et R_i, les puissances développées sont respectivement $\frac{e^2}{R}$ et $\frac{e_i^2}{R_i}$. Le pouvoir d'amplification est alors

$$\eta = \frac{e^2 R_i}{e_i^2 R} = \mu^2\frac{R_i}{R},$$

ce qui, en tenant compte de (28), devient

$$\eta = \frac{\mu_0^2 R_i R}{(R + R_0)^2}. \quad (29)$$

L'amplification est donc maximum quand R est égal à R_0.

La puissance développée dans R est

$$P = \frac{\mu_0^2 e_i^2 R}{(R + R_0)^2}; \quad (30)$$

d'où il résulte, comme on pouvait le prévoir, que la puissance dans R est maximum quand la résistance R du circuit d'utilisation est égale à l'impédance R_0 du tube.

On voit facilement que l'amplification du courant est donnée par

$$\xi = \frac{\mu_0 R_i}{R + R_0}, \quad (31)$$

d'où il résulte que l'amplification s'approche asymptotiquement de zéro à mesure que R augmente, l'amplification maximum étant réalisée quand R devient infiniment petit vis-à-vis de R_0.

Posant $R = R_0$ dans (29) et $R = 0$ dans (31) et se rappelant que le coefficient angulaire de la tangente à la courbe traduisant la relation entre le courant filament-plaque et le potentiel de la grille est

$$S = \frac{\mu_0}{R_0}, \quad (13\,a)$$

on obtient pour l'amplification maximum d'énergie

$$\eta' = \frac{\mu_0 R_i}{4}.S, \quad (29\,a)$$

et pour l'amplification maximum de courant

$$\xi' = R_i.S. \quad (31\,a)$$

Ces relations montrent le rôle important que joue le coefficient angulaire de la tangente à la courbe du courant filament-plaque en fonction du potentiel de la grille. Le facteur S est également important au point de vue du fonctionnement du tube comme générateur d'oscillations et comme détecteur.

IX. — Vérification expérimentale des équations d'amplification. — Pour pouvoir effectuer des mesures satisfaisantes l'auteur a utilisé un circuit spécial. En accord avec les considérations développées dans les paragraphes précédents, la grille est maintenue sous un potentiel inférieur de E_c volts par rapport à celui du filament au moyen d'une batterie C insérée dans le circuit filament-grille (fig. 12) et l'on superpose à E_c une tension alternative $e \sin pt$, tandis qu'on maintient l'anode positive par rapport au filament au moyen de la batterie B_1, le filament étant mis au sol. On prend soin de maintenir la valeur maximum e de la tension d'alimentation dans les limites définies par l'équation (25).

Le courant dans le circuit d'utilisation est donné par l'équation (24). En établissant, dans le paragraphe précédent, les équations d'amplification on a supposé que le dernier terme de l'équation (24) était nul. Si $e \sin pt$ est également nul, le courant dans le circuit d'utilisation n'est pas nul, mais a une valeur finie donnée par le premier terme de l'équation (24).

Pour des valeurs finies de $e \sin pt$, le courant alternatif résultant qui s'établit dans le circuit d'utilisation ne peut pas être séparé à la manière habituelle de ce courant continu

Digitized by Google

au moyen d'inductances et de capacitances appropriées, puisque l'amplification serait alors déterminée principalement par les constantes du circuit. D'un autre côté, il n'est pas possible de faire fonctionner simplement l'amplificateur sur une résistance non inductive seule, puisque le courant continu qui traverserait le galvanomètre est considérable, dans la plupart des cas, par rapport au courant alternatif d'utilisation, dû au courant d'alimentation, en sorte qu'un galvanomètre, qui pourrait supporter le passage du courant

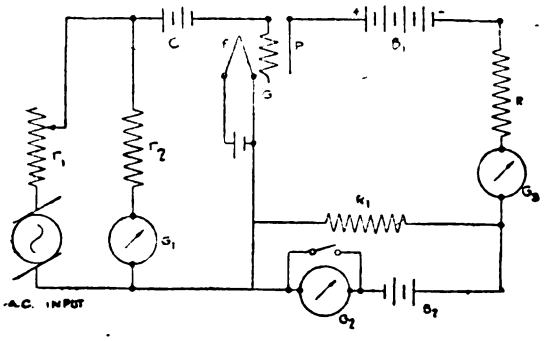


Fig. 12.

continu, ne serait pas suffisamment sensible pour mesurer, avec quelque précision, le courant alternatif d'utilisation.

En vue de surmonter ces difficultés on a utilisé le circuit de la figure 12. Le circuit d'utilisation est fermé sur les résistances non inductives R et R_1 (fils rectilignes montés sur un cadre). Parallèlement à R_1 on a monté en dérivation un galvanomètre sensible pour courant alternatif et une batterie de réglage B_2. Cette batterie est réglée de manière que, l'alimentation étant nulle, c'est-à-dire le circuit FPRR' n'étant traversé que par le courant continu, le courant dans le galvanomètre G_2 soit nul. La résistance R_1 est grande comparée à celle du galvanomètre G_2 ; par suite quand on alimente le tube, pratiquement tout le courant d'utilisation traverse le galvanomètre G_2 et peut être mesuré aisément. Il est évident que la résistance extérieure efficace du circuit d'utilisation est donnée pratiquement par R. On peut faire

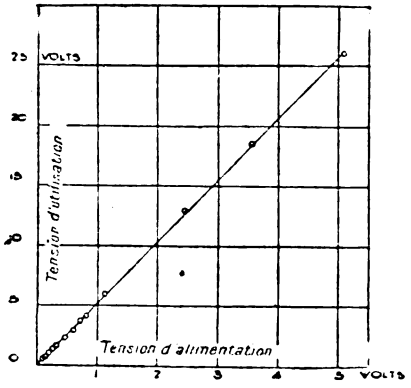


Fig. 13.

varier le courant d'alimentation au moyen des résistances r_1 et r_2 et on les mesure avec le galvanomètre G_1.

L'auteur a ainsi constaté que l'amplification est indépendante de la fréquence et de la valeur du courant d'alimentation, ce qui justifie l'hypothèse faite lors de l'établissement des équations d'amplification. On a fait varier la tension de quelques centièmes de volts à plusieurs volts, et la fréquence de 200 à 350 000 p : sec.

La figure 13 donne la tension d'utilisation (tension aux extrémités de la résistance R) en fonction de la tension d'alimentation pour une fréquence de 1 000 p : sec. La relation linéaire entre les deux montre que l'amplification de la tension est indépendante de la tension d'alimentation ; de même aussi, l'amplification de la puissance doit être indépendante de la puissance primaire.

Le tableau suivant donne l'amplification de la tension μ obtenue pour diverses fréquences :

μ	Fréquence S
4,98	2 500 p : sec
4,95	2 000
5,00	1 500
5,03	1 000
5,04	500
5,15	200

La moyenne de ces valeurs de μ est 5,0. La valeur de μ_0 pour cet amplificateur, obtenue par l'équation (19), est 10,2. Dans les conditions de l'expérience, l'impédance interne R_0 du circuit d'utilisation de l'amplificateur déterminée par les méthodes en courant continu exposées au paragraphe V était 14 800 ohms et la résistance extérieure 15 000 ohms. L'amplification de la tension calculée à partir de ces valeurs de R et de R_0 au moyen de l'équation (28) est 5,1 nombre qui s'accorde bien avec celui mesuré directement, 5,0.

Comme nouvelle vérification de l'équation (28), on a déterminé l'amplification μ de la tension pour différentes valeurs de la résistance extérieure R (fig. 12) et on peut se rendre compte de l'exactitude de l'équation (28) sur les figures 14 et 15 qui représentent les résultats obtenus pour

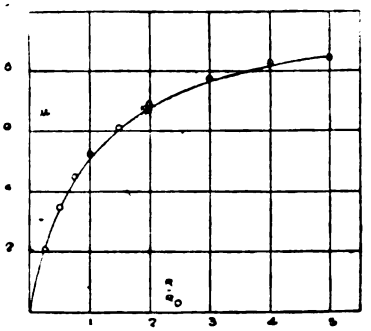


Fig. 14.

deux valeurs différentes de la tension d'alimentation (0,45 et 3,55 v). Les cercles indiquent les valeurs observées tandis que les courbes ont été calculées d'après l'équation (28).

La figure 16 représente la puissance du courant alternatif $i_0^2 R$ développée dans la résistance extérieure en fonction de R. On a obtenu les valeurs de la puissance en mesurant le courant alternatif d'utilisation i_0 par le galvanomètre G_2. La puissance développée dans la résistance extérieure R devrait être maximum quand R est égal à l'impédance R_0 de l'amplificateur. On voit sur la figure 16 que la puissance est maximum pour $R = 15\,000$ ohms ; l'impédance R_0 de

Digitized by Google

l'amplificateur calculée par la méthode à courant continu est 14800 ohms. En outre la puissance maximum indiquée

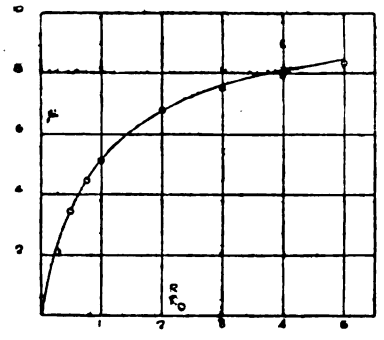


Fig. 15.

par la figure 16 est $23\ 10^{-3}$ w. Or dans cette expérience on avait

$$e_i = 3{,}55 \text{ v};$$
$$R = 15\ 000 \text{ ohms};$$
$$R_0 = 14\ 800 \text{ ohms};$$
$$\mu_0 = 10{,}2;$$

en sorte que la puissance calculée par l'équation (30) est $22{,}2\ 10^{-3}$ w en bon accord avec la valeur observée.

L'équation (30) ne donne pas la puissance maximum qui peut être supportée par l'amplificateur, mais seulement la puissance développée dans R pour une valeur donnée e de la tension d'alimentation. On obtient la puissance maximum quand la tension d'alimentation a la valeur fournie par l'équation (26). Dans le cas des amplificateurs à haute puis-

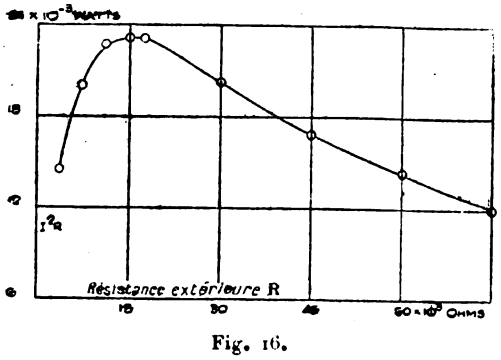


Fig. 16.

sance dont on désire obtenir une puissance égale ou supérieure à 100 w, la construction est effectuée de manière que la grille puisse prendre un potentiel positif appréciable par rapport au filament sans entraîner de distorsion, ce qui permet d'augmenter la tension d'alimentation et entraîne un accroissement consécutif de la puissance fournie.

Par un choix convenable des paramètres qui caractérisent la construction, on a pu réaliser des tubes donnant une amplification de la tension ou de la puissance variable dans un grand intervalle. Il n'est pas difficile d'amplifier plusieurs centaines de fois la tension, et on a pu réaliser une amplification de la puissance égale à 3 000 en portant la plaque à un potentiel d'environ 100 v seulement. Les tubes utilisés comme détecteurs de télégraphie sans fil peuvent être construits pour fonctionner sous des tensions très faibles ; on a même combiné un modèle de détecteur fonctionnant d'une manière satisfaisante avec une tension de 2 v sur le filament et un potentiel de la plaque inférieur à 12 v.

Ce qui précède montre que la construction du tube joue un rôle très important. C'est d'elle que dépendent les constantes μ_0 et R_0 qui s'introduisent dans les équations d'amplification et qu'on admet implicitement et explicitement dans l'équation fondamentale de la caractéristique (9).

A. B.

Valeur du champ électrique dans l'espace obscur de Crookes d'un tube étroit (1).

Jusqu'ici, pour représenter la variation du potentiel dans l'espace obscur de Crookes d'un tube à vide, on se servait de la relation empirique $V = V_0 (1 - e^{-kx})$, dans laquelle V_0 représente le potentiel à la limite de la lueur négative ; V, le potentiel en un point de l'espace obscur situé à la distance x de la cathode et k, une constante. Le potentiel de la cathode est supposé nul. D'après cette formule, l'intensité du champ en un point de l'espace obscur serait

$$H = -\frac{dV}{dx} = -V_0 k x e^{-kx}.$$

c'est-à-dire que nous aurions une relation linéaire entre $\log H$ et x. Mais en cherchant à construire la courbe de $\log H$ en fonction de x à l'aide de données expérimentales qui ont été obtenues dans des conditions indiquées plus loin, MM. Takamine et Yoshida n'ont jamais pu trouver une ligne droite. La formule ne répond donc pas aux faits ; par contre, ces deux auteurs ont vérifié que « la différence $H - H_0$ croît proportionnellement au carré de la distance du point considéré à l'origine de l'espace obscur ». En exposant la genèse de cette loi, nous aurons en même temps l'occasion de faire connaître quelques découvertes assez récentes.

Aussitôt que Zeeman eut démontré qu'un champ magnétique avait la propriété de dédoubler les raies spectrales, beaucoup de savants ont cherché à reproduire ce phénomène en utilisant un champ électrique au lieu du champ magnétique. C'est en 1913 seulement que Stark a donné une solution de la question, en utilisant la lumière des rayons-canaux. A cet effet, un tube à rayons-canaux est muni d'une électrode auxiliaire en forme de disque située dans la région où se propagent les rayons-canaux et disposée parallèlement à la cathode perforée et à une distance de celle-ci égale à 1,1 mm ou 2,6 mm suivant les cas. Entre ces deux électrodes, qui forment ainsi les armatures d'un condensateur, on établit un champ électrique au moyen d'une batterie d'accumulateurs ou d'une dynamo, dont le pôle positif est relié à l'électrode perforée et le pôle négatif à l'électrode auxiliaire. La pression du gaz à l'intérieur du tube est choisie de telle sorte que l'espace obscur de Crookes soit de 5 à 10 cm. Lorsque le tube fonctionne alimenté par une bobine d'induction, les rayons-canaux se propagent dans l'espace compris entre les deux armatures du condensateur et ionisent le gaz qui s'y trouve. Pour observer l'action du champ sans être gêné par l'effet Döppler, on dispose l'axe du collimateur perpendiculairement au champ électrique.

(1) Tsahio Takamine et Usabora Yoshida. *Memoirs of the College of Science Kyoto Imperial Universty*, octobre 1917, t. II, n° 6, p. 335-340, 1 fig.

Digitized by Google

On a trouvé ainsi que les raies H_β et H_γ de l'hydrogène se divisent en 5 composantes disposées à peu près symétriquement par rapport à la raie initiale. Dans ces quintuplets les composantes extérieures correspondent à des vibrations parallèles au champ, tandis que les triplets intérieurs correspondent à des vibrations perpendiculaires au champ. Avec un champ de 13000 v:cm, la distance des composantes extérieures est de 3,7 angstrœms pour H_β et 5,4 angstroems pour H_γ. La séparation des raies est proportionnelle au champ électrique lui-même et non à son carré (1).

Le phénomène Stark a été retrouvé d'une autre manière par Lo Surdo (2) qui pointait son spectrographe sur la gaine cathodique, région où le gradient de potentiel atteint son maximum. Cette méthode exige l'emploi de tubes à vide très étroits ; avec de larges tubes, on rencontre certaines difficultés. La lueur négative n'était jamais répartie uniformément dans l'espace obscur, mais concentrée principalement sur l'axe, sauf au front de la cathode où elle remplissait le tube tout entier. C'est la portion axiale que l'on projetait sur la fente du spectroscope et il faut rappeler que la distribution du champ était effectivement mesurée dans cette région.

C'est la méthode de Lo Surdo qui a été appliquée par MM Takamine et Yoshida comme nous l'avons indiqué déjà plusieurs fois dans la documentation.

Dans leurs premières recherches, les auteurs avaient déjà vérifié que, si l'on représentait par H_0 le champ à l'origine de l'espace obscur voisin de la colonne positive et par H, le champ en un point quelconque de cet espace obscur, la différence $H - H_0$ variait à peu près comme le carré de la distance qui sépare les deux points H et H_0. Soit alors d la distance de H à la cathode ; d_0, la longueur de l'espace obscur ; on a

$$(H - H_0) = k\,(d_0 - d)^2,$$

k étant une constante. Ils ont ont alors construit la courbe de H en fonction de d en prenant $H_0 = 0{,}23 \times 10^4$ v : cm, $d_0 = 2{,}3$ mm et $k = 1{,}03$ et constaté que les points observés se répartissaient assez bien autour de l'épure théorique. Depuis lors, au cours de nouvelles expériences relatives à l'effet d'un champ électrique sur les raies de l'hydrogène et de l hélium, cette formule a été encore une fois contrôlée à l'aide des données fournies par de nombreuses photographies de spectres ; dans tous les cas, on a toujours trouvé qu'elle répondait exactement à la répartition du champ électrique dans l'espace obscur de Crookes.

Les trois courbes de la figure 1 ont été effectivement tracées en partant de cette formule et en choisissant pour

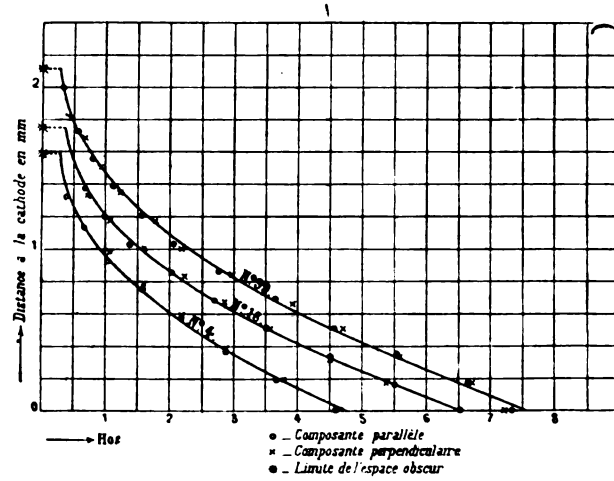


Fig. 1. — Courbes donnant la valeur du champ électrique en chaque point de l'espace obscur de Crookes en fonction de sa distance à la cathode. Les abscisses sont exprimées en 10^4 v : cm.

chacune d'elles les constantes convenables ; les croix x et les cercles o correspondent aux points observés. Les constantes de ces trois paraboles et toutes les autres valeurs numériques ont été tirées de 12 photographies et sont contenues dans le tableau suivant :

GAZ	COURANT DANS LE TUBE milliamp.	DIAMÈTRE DU TUBE en mm	DENSITÉ DE COURANT par mm²	LONGUEUR DE L'ESPACE OBSCUR en mm observée	LONGUEUR DE L'ESPACE OBSCUR en mm calculée	E_0 en 10^4 v:cm	E_{max} en 10^4 v:cm	k	$k \times$ LONG. DE L'ESPACE OBSCUR $\times$ PAR LE DIAMÈTRE	DIFFERENCE AVEC LA VALEUR MOYENNE	CHUTE CATHODIQUE CALCULÉE en v
He et H^2	0,6	1,72	0,26	1,4	1,59	0,39	4,88	1,76	4,8	— 0,4	2.820
He et H^2	0,6	1,72	0,26	1,7	1,75	0,41	6,53	2,00	6,8	+ 0,8	4.300
H^2	1,2	2,00	0,38	2,3	2,30	0,23	5,85	1,03	4,8	— 0,4	4.700
H^2	1,7	2,4	0,38	2,5	2,64	0,28	7,30	0,86	5,5	+ 0,3	6.240
H^2	1,3	2,4	0,29	2,6	2,59	0,35	5,35	0,75	4,7	— 0,5	5.310
H^2	0,7	1,5	0,40	2,1	1,94	0,26	7,00	1,89	5,5	+ 0,3	5.100
H^2	0,9	1,5	0,51	1,6	1,64	0,35	5,50	1,95	4,8	— 0,4	3.430
H^2	0,7	1,5	0,44	2,0	2,03	0,30	6,90	1,64	4,9	— 0,3	5.190
H^2	0,7	1,7	0,31	1,5	1,57	0,40	5,27	1,96	5,5	— 0,3	3.160
H^2	0,7	1,7	0,21	2,0	2,13	0,39	7,60	1,61	5,8	+ 0,6	5.810
H^2	0,6	1,42	0,38	1,1	1,22	0,35	4,42	2,78	4,8	— 0,4	2.110
H^2	0,4	1,77	0,16	2,5	2,31	0,25	7,80	1,28	5,2	0	5.830
							Moyenne.....		5,2		

He, hélium ; H^2 hydrogène.

De ce tableau il ressort que le champ H_0 à l'origine de l'espace obscur est compris entre 2 300 et 4 000 v : cm ; mais comme le pourcentage des erreurs est assez grand, la considération de chaque valeur séparément ne peut pas conduire à des conclusions bien définies. De même k varie dans

(1) Pour plus de détails, voir *Journal de Physique*, 1914, p. 34 et 657.

(2) *Rendiconti dei Lincei*, t. XXII, p. 664.

Digitized by Google

des limites assez larges ; mais il est remarquable de constater que le produit $k \times d_0 \times$ diamètre du tube est pratiquement constant ; chaque valeur individuellement ne s'écarte pas de plus de $\pm$ 10 pour 100 de la moyenne, écart que l'on peut attribuer aux erreurs d'expérience (voir colonne 11).

Comme le diamètre du tube et la longueur de l'espace obscur n'ont pas varié dans de grandes limites, la constance de ce produit n'a pas une portée générale; elle peut toutefois servir à une estimation du champ dans l'espace obscur de Crookes pour des tubes étroits.

Prenant pour k la moyenne 5,2, la distribution du champ sera alors représentée par la formule

$$H = H_0 + \frac{5,2}{d_0 \times \text{diamètre}} (d_0 - d)^2,$$

et, par conséquent, le champ maximum H_{max} au contact de la cathode sera

$$H_{max} = H_0 + 5,2 \times \frac{d_0}{\text{diamètre}}.$$

Pour augmenter H_{max}, il suffira donc d'allonger l'espace obscur et de rétrécir le tube capillaire; mais alors la démarcation de l'espace obscur n'est plus nette et, finalement, son apparence change brusquement; la faible lueur qui se remarquait tout d'abord dans l'espace obscur s'évanouit pour faire place à une lueur aussi intense que celle de la colonne positive et qui envahit l'espace obscur tout entier. A ce stade de la décharge, il n'y a plus trace de dédoublement des raies de l'hydrogène sous l'action du champ électrique ; on atteint la limite supérieure de la longueur de l'espace obscur. Par exemple, avec un tube de 1,5 mm de diamètre, ce changement brusque se manifeste aussitôt que d_0 devient un peu supérieur à 2,5 mm. Il est certain que la longueur maximum croît avec le diamètre du tube, mais les auteurs n'ont pas cherché à établir une relation entre ces deux grandeurs.

Le plus grand champ qu'ils aient réalisé correspondait à $7,8 \times 10^4$ v : cm, pour une longueur de l'espace obscur égale à 2,5 mm et un tube de 1,77 mm de diamètre.

Lo Surdo, qui a fait des recherches très étendues sur la séparation des raies par un champ électrique, a cru remarquer que la longueur de l'espace obscur est indépendante de l'augmentation du courant, pourvu que la pression reste constante dans le tube; les auteurs ont, au contraire, observé un léger allongement de d_0 quand on accroît l'intensité du courant. B. C.

Modification partielle des groupes moteurs-génératrices transformant du courant continu (1).

Dans cet article on se propose de décrire un montage particulier de ces groupes donnant un rendement très supérieur à celui généralement offert par le montage ordinaire. Le principe, que plusieurs lecteurs connaissent peut être déjà, consiste à mettre le courant traversant le moteur en parallèle avec le courant de la génératrice entraînée par ledit moteur. C'est ce que représente la figure 1.

Désignons par M le courant absorbé par le moteur ; par G le courant débité par la génératrice ; par V la tension aux bornes du moteur; par E la tension de la génératrice (ou tension secondaire); par A le courant secondaire total (c'est-à-dire le courant de la génératrice plus le courant du moteur); par e le rendement global; supposons qu'il n'y a pas de pertes ; alors :

watts du moteur = watts de la génératrice:

c'est-à-dire $MV = GE$

$$M = G\frac{E}{V}, \quad \text{et} \quad G = M\frac{V}{E}.$$

On a aussi $(M + G)E = EA,$

et comme $G = M\frac{V}{E},$

nous avons $\left(M + M\frac{V}{E}\right)E = EA.$

et $$M = \frac{EA}{\left(1 + \frac{V}{E}\right)E} = \frac{A}{1 + \frac{V}{E}}$$

Tenant compte des pertes, le rapport des tensions $\frac{V}{E}$ doit

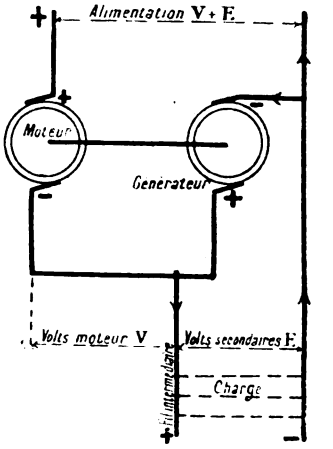


Fig. 1.

être multiplié par le rendement global, c'est-à-dire qu'on a alors

$$M = \frac{A}{1 + e\frac{V}{E}};$$

c'est la seule formule nécessaire à la discussion du montage.

Le courant de la génératrice est, naturellement, A-M, et la puissance de chaque machine s'obtient en multipliant son courant par sa tension.

La figure 2 est un diagramme de convections montrant les excitations shunt, le démarreur et le régulateur, celui-ci étant dans le circuit d'excitation de la génératrice ; il n'y a rien de particulier à signaler. On voit qu'au démarrage les excitations des deux machines sont en série et que lorsque le démarrage est terminé les contacts C, C sont court-circuités de telle sorte que chaque excitation est connectée séparément au fil intermédiaire.

Nous donnons ci-dessous les caractéristiques d'un groupe de 160 kw fonctionnant à demi-charge; le rendement est sensiblement supérieur à celui d'un groupe ordinaire ; les *augmentations* de rendement sont encore plus marquées dans le cas de petites unités.

Puissance secondaire, 80 kw, sous 205 v;

Tension primaire (ligne), 400 v ;

Tension secondaire (génératrice), 205 v.

Rendement global 91 pour 100, puissance secondaire divisée par puissance fournie par la ligne ;

Vitesse du groupe, 1 210 t : min;

(1) C.-L. Brown. *Electrical Review*, Londres, 8 novembre 1918, t. LXXXIII, p. 435-436, 2 fig.

Digitized by Google

Courant dans le fil intermédiaire, 390 A ;

Enroulements, les deux machines sont à excitation shunt avec fils de commutation.

Le fonctionnement des groupes ainsi montés ne comporte aucune difficulté sous quelque condition que ce soit; on peut marcher en parallèle avec des génératrices compound, auquel cas la génératrice du groupe devrait aussi être compound afin d'assurer une égale répartition des charges ; autrement dit les caractéristiques de champ doivent être les mêmes.

Il convient de signaler que dans le cas de grands rapports de tensions et pour des groupes de faible puissance, jus-

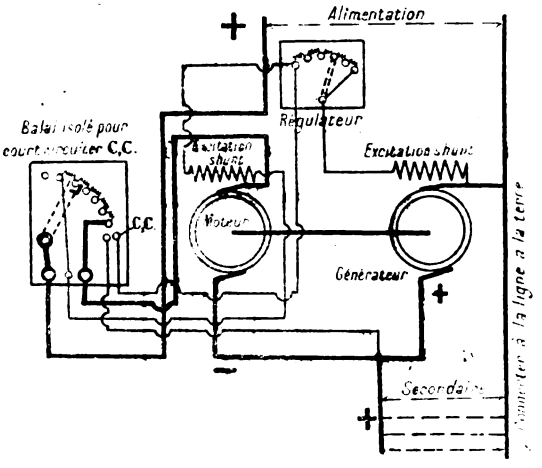


Fig. 2.

qu'à 15 ou 20 kw par exemple, quand la tension du moteur égale six fois celle de la génératrice le gain en rendement n'est plus appréciable à cause du faible courant du moteur.

De tels groupes ont été employés avec succès pour les appareils cinématographiques ; il faut avoir soin, si la ligne d'alimentation est mise à la terre, de connecter le côté génératrice au fil à la terre (fig. 2) sans quoi l'opérateur pourrait recevoir des commotions.

Comme le rendement global augmente en même temps que la tension du moteur diminue, on voit que ces groupes sont particulièrement adaptés aux hautes tensions secondaires. — P. V.

La réactance des machines synchones et ses applications (1).

La première partie de ce mémoire traite du calcul et de l'application de la réactance self-inductive de l'induit dans les machines synchrones. On y donne une méthode courte et sûre pour faire le calcul d'après les données du projet en quelques minutes. La table I donne une comparaison des valeurs calculées et des valeurs obtenues par essai (d'après les courbes de magnétisme et d'impédance synchronique) pour 138 machines, allant des turbo-alternateurs à grande vitesse au type pour machine à vapeur à faible vitesse.

Trois points ont été mis en lumière dans ces recherches :

1° Dans les machines polyphasées, la réactance self-inductive de l'induit, tout comme la réaction d'induit, est un phénomène polyphasé, non monophasé, et par suite l'induction mutuelle des phases dans une machine triphasée augmente la self-induction effective de chaque phase d'environ 50 pour 100 au-dessus de la valeur monophasée, tandis que dans les machines diphasées, où l'induction mutuelle des phases est zéro, la self-induction effective de la phase est la même pour le fonctionnement en diphasé que pour le fonctionnement en monophasé.

2° La variation de la réactance d'induit pendant une période, due à la construction avec pôles saillants, est pratiquement éliminée dans les machines triphasées à montage en étoile, pour la raison que cette variation se compose presque uniquement d'un harmonique 3, qui est annulé dans ces machines. Il reste donc une réluctance uniforme pour le flux de fuite émanant des extrémités des dents.

3° Dans la méthode bien connue employée pour obtenir la self-induction de l'induit par les courbes de magnétisme et d'impédance synchrone (méthode qui consiste à retrancher la réaction d'induit, c'est-à-dire les ampères-tours démagnétisants du courant normal de court-circuit prolongé, des ampères-tours inducteurs correspondants), on peut commettre une très grande erreur dans cette valeur expérimentale de la self-induction, si, comme d'ordinaire, la réaction d'induit est calculée dans l'hypothèse d'une onde sinusoïdale. Un ensemble de courbes, tracées d'après les résultats tirés des appendices A et B, donne les valeurs du facteur de correction qui s'applique aux calculs basés sur cette hypothèse.

Une méthode approchée, mais commode, pour appliquer la réactance d'induit au calcul de l'excitation en charge est donnée dans l'appendice C.

Dans la deuxième partie, on montre que le courant de court-circuit initial des machines synchrones est déterminé non seulement par la réactance self-inductive de l'induit, comme on l'admet souvent, mais aussi par la réactance self-inductive des inducteurs. La négligence de la réactance des inducteurs peut donner au courant de court-circuit calculé une valeur trop élevée de 50 pour 100 ou davantage. Les auteurs établissent une formule pour calculer la réactance des inducteurs qui, ajoutée à la réactance d'induit, donne le total qui détermine le courant initial de court-circuit et qu'on propose d'appeler, comme l'ont déjà suggéré d'autres auteurs, *réactance momentanée* (*transient reactance*). Une table présente une comparaison, relevée sur onze machines, des courants de court-circuit réels déterminés par l'oscillographe, et de ces courants tels qu'ils sont calculés par les méthodes proposées dans ce Mémoire.

Les calculs de la *réactance momentanée* s'appliquent strictement aux alternateurs à pôles saillants feuilletés sans enroulement amortisseur. Cependant, les résultats contenus dans la table ci-dessus mentionnée, si on les analyse avec l'aide de certaines considérations théoriques, fournissent une base pour l'évaluation de la *réactance momentanée* dans les turbo-alternateurs à rotor d'acier massif et dans les machines à pôles saillants avec enroulement amortisseur. On essaie de décrire les phénomènes, compliqués en apparence, des court-circuits brusques en termes aussi exempts de mathématiques que possible. Un point intéressant et important, que les auteurs établissent d'après l'interprétation physique du problème, est qu'il se produit une notable augmentation de flux à la base du pôle au moment du court-circuit. Elle peut atteindre, si le rotor est entièrement feuilleté, 30 à 40 pour 100 du flux normal, ce qui semble expliquer pourquoi, dans les machines à jante rotorique en acier plein, le facteur d'atténuation du champ, s_y, change radicalement après les quelques premières périodes qui suivent le court-circuit. P. L.

(1) R.-E. Doherty et O.-E. Shirley, *Proceedings of the American Inst. of Elect. Eng.*, juillet 1918, t. XXXVII, p. 881-905.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

Programme de transformation du réseau télégraphique français
Le développement du réseau de câbles

Après un historique succinct relatif au réseau télégraphique souterrain qui fut établi en France à la suite de la guerre de 1870, l'auteur montre qu'aujourd hui la construction et l'exploitation d'un grand réseau de ce genre ne présentent aucune difficulté technique et que, tout compte fait, un tel réseau est financièrement plus économique que les réseaux aeuels en fils aériens. Aussi conclut-il qu'il convient que dès maintenant on se préoccupe, dans l'intérêt général du service télégraphique, de la construction d'un grand réseau de câbles à conducteurs multiples dont certaines sections pourraient d'ailleurs être établies aériennement sur poteaux en ciment ainsi qu'on le fait aux États-Unis.

1. — Quelques années après la guerre de 1870, M. Cochery, qui avait été fait ministre avec pleins pouvoirs pour assurer et hâter la fusion des deux services des postes et des télégraphes, concevait la création d'un grand réseau des câbles télégraphiques souterrains. Le principal motif de cette orientation nouvelle était d'ordre militaire. Il fallait que, le cas échéant, l'ordre de mobilisation pût être lancé à travers tout le territoire, sans que l'on eût à craindre que des détériorations provoquées par l'ennemi vinssent à isoler certaines régions, surtout celles qui étaient situées le plus près de la frontière. M. Cochery fut aidé dans l'exécution de cette tâche par les ingénieurs des télégraphes. Depuis une dizaine d'années au moins, aucun recrutement n'avait été fait à l'École Polytechnique, mais sans doute M. Cochery père n'oubliait pas que son fils avait fait partie de la promotion de 1875 et il pouvait ainsi se rendre compte mieux que personne des ressources qu'il y avait de ce côté. Ce fut sous les ordres de Wünshendorff que la jeune génération d'alors se mit au travail. Le réseau fut constitué. Cependant les phénomènes de capacité et d'induction mutuelle déroutèrent les habitudes télégraphiques de l'époque. Les ingénieurs étaient concentrés en général dans les services de construction et ne pouvaient prendre contact avec l'exploitation elle-même. Les bureaux ne cessaient de se plaindre des difficultés d'exploitation des câbles souterrains. Peu à peu le réseau devenait de moins en moins utilisé. Cette situation dura jusqu'au moment où M. Baudot parvint à faire une très bonne exploitation des fils 010 et 011 entre Paris et Bordeaux avec intercalation de relais à Orléans, Blois, Tours, Poitiers et Angoulême. Ces planchettes de relais étaient fort bien comprises. La translation pouvait être surveillée par des parleurs et si Paris appelait Tours, par exemple, ce bureau pouvait par une manœuvre simple envoyer à Paris par le 011 les transmissions reçues par le 010, de sorte que le dirigeur de Paris recevant ainsi sa propre transmission pouvait du même coup surveiller son appareil d'émission et les relais intercalés. Ces facilités de coupure et de contrôle assuraient une exploitation régulière. Les sections étaient courtes, les tensions électriques peu élevées, le sens des courants de travail était inversé d'une section à la suivante. Le résultat était tout à fait satisfaisant.

Peu à peu, les câbles veillirent, leur grand isolement diminua; les effets de la capacité se firent moins sensibles; les câbles qui avaient été abandonnés comme défectueux furent visités; on s'aperçut qu'il suffisait le plus souvent de vérifier les extrémités voisines des chambres de coupure, ou de refaire des soudures. L'ensemble des appareils desservis par câbles souterrains fut mis sous la direction d'un spécialiste unique. A partir de cette époque, le réseau souterrain se mit réellement à revivre et l'on put constater alors que dans maintes circonstances, alors que des accidents de chemins de fer ou des orages atmosphériques ou la violence des vents avaient endommagé des artères aériennes de la plus grande importance, le service souterrain continuait à fonctionner et sauvait la situation. Il fallait cependant lutter encore contre bien des préjugés. Souvent un fil peu employé était considéré comme défectueux, alors que l'unique raison de son chômage était la pénurie de personnel, le même employé étant chargé de répondre soit au fil aérien, soit au fil souterrain desservant les deux localités et préférant naturellement son fil aérien, dans les conditions ordinaires.

2. — Cet exposé est sans doute bien incomplet, mais j'ai voulu seulement résumer en gros l'histoire du réseau souterrain en fils sous gutta. On voit que ce réseau, primitivement conçu dans un but militaire, achèva son existence en rendant les plus grands services à l'exploitation commerciale.

Ce qui montre bien les préoccupations qu'on avait à l'origine, c'est le caractère secret de tous les documents concernant le réseau. Ils étaient soigneusement gardés dans des armoires spéciales. Ils continuèrent à y demeurer alors que le service spécial des lignes souterrain es

Digitized by Google

avait déjà disparu. Et plus tard, quand il fallut réparer et remettre en état ce réseau, il y eut souvent des difficultés pour retrouver les chambres ; les routes avaient été déviées, les kilométrages des chemins avaient été modifiés. Bien des fois, l'on dût faire appel au souvenir des vieux paysans.

Depuis cette vaste expérience, bien des perfectionnements ont été apportés aux câbles, bien des progrès ont été faits dans la technique électrique qui ont montré les moyens de contrebattre les effets fâcheux de la capacité ; mais le souvenir de ces grands travaux demeurés si longtemps sans utilité pèse encore sur les esprits et personne n'ose prendre la responsabilité de présenter un programme de grands travaux, si nécessaire et si urgent qu'il soit. A force même de n'en point parler, on a fini par ne pas se rendre compte de sa possibilité, de sa nécessité et de son urgence.

3. Cependant tout a marché autour de nous.

Aux anciens câbles sous gutta ont succédé les câbles sous papier imaginés par Barbarat ; concurremment à ces câbles, il nous vient aujourd'hui d'Amérique des câbles étudiés par la Western Electric Co, qui, sous un très petit volume, contiennent un nombre formidable de conducteurs. Pour vaincre la capacité, le grand Américain d'origine Serbe, Pupin, a indiqué des règles précises. Pour distribuer l'inductance le long des conducteurs, il suffit d'une dizaine de bobines par longueur d'onde pour que l'ensemble du circuit se comporte comme un circuit homogène, de la spécification la plus favorable.

Ces deux grandes découvertes, un isolant pratique à faible constante diélectrique et la pupinisation, rendent aujourd'hui techniquement possible l'établissement d'un grand réseau de câbles.

Il y a cependant une autre question encore à résoudre, mais il semble bien qu'elle ait dans ces derniers temps reçu une solution à peu près définitive, c'est celle de l'anti-induction qui permet la coexistence sous une même enveloppe d'un grand nombre de circuits sans qu'ils se troublent les uns les autres. A propos des câbles sous papier nous lisons, en effet, dans l'ouvrage de C. Stille, inspecteur des télégraphes, au Reichspostamt, p. 69, de la traduction française « des câbles télégraphiques et téléphoniques » le passage suivant : « Les câbles à isolant végétal n'ont pas été employés pour les lignes à grande distance. Mais déjà, dans les câbles de réseau, ils ont causé des difficultés, d'autant plus importantes que les lignes sont plus longues. Ainsi, à Berlin, l'induction mutuelle entre les différents conducteurs nous a forcés à ne pas utiliser tous les conducteurs du même câble. » Cette citation prouve l'existence et la réalité du mal. Quant au remède, il faut se reporter aux « Annales télégraphiques » pour voir les études qui ont été faites pour préciser les méthodes les meilleures à employer pour obtenir l'anti-induction. C'est un sujet trop difficile pour que je m'y engage.

En résumé, au point de vue technique, ni la capacité, ni l'induction mutuelle, ni l'encombrement des brins ne constituent plus des obstacles.

4. On pourrait craindre cependant que l'on ne fût obligé d'employer des conducteurs de trop gros diamètre pour réunir des villes éloignées de 800 à 1 000 km, distances qui sont les plus grandes que nous ayons à envisager en France, mais ici encore le remède est connu.

S'agit-il de transmissions ordinaires par piles, il est toujours facile d'intercaler des relais ; il est vrai que le relais translateur ne rend que ce qu'on lui a donné et que, par suite, si l'on supprime l'inconvénient qui provient de la longueur, on ne détruit pas la déformation produite le long du segment considéré du fait de la propagation. Mais justement cet obstacle a été surmonté et même de deux manières ; la première, consiste dans l'emploi bien connu des translations rectificatrices, la seconde consiste dans l'intercalation des retransmetteurs.

S'agit-il de transmissions vibrées dans lesquelles, comme dans la téléphonie, on a affaire à des vibrations sonores, il suffit de recourir au relais téléphonique. On sait que l'Administration française se sert avec succès du relais Marius Latour, basé sur l'emploi des lampes à vide (1) et qu'un système analogue est déjà employé en grand en Amérique. Or, ce genre de relais fonctionnant sans inertie, il est possible d'introduire sur une communication à grande distance un nombre quelconque de ces organes sans introduire de déformation. Il y a six relais entre New-York et San Francisco, sans que la parole soit altérée autrement que par les défauts accidentels ou inévitables de la ligne ; mais les relais n'en sont pas responsables.

Cette possibilité étend singulièrement le champ d'action de l'admirable télégraphe harmonique Mercadier-Magunna, qui sera le système de l'avenir.

Ajoutons que les progrès de la télégraphie sans fil augmentent considérablement l'étendue de la gamme des fréquences disponibles et que la télégraphie ordinaire est appelée à recueillir le bénéfice de ces immenses progrès, dus pour une si large part, à la haute direction du colonel Ferrié.

5. — Tout concourt donc à montrer qu'aujourd'hui la création d'un grand réseau télégraphique en câble est une chose pratique, que toutes les difficultés inhérentes à cette grande entreprise seraient facilement résolues. Et pourtant on hésite. Pourquoi ?

C'est que nous n'avons considéré jusqu'ici que le côté télégraphique et non le côté administratif de la question.

Or, il y a parfois des règlements ou des conventions qui empêchent ou retardent l'accomplissement de phénomènes naturels.

Ici, la raison administrative saute aux yeux : c'est que l'Administration des Postes et Télégraphes a le droit d'établir ses lignes télégraphiques le long des voies de chemin de fer, sans avoir à payer de redevance pour l'occupation du sol et que ses agents de surveillance des

(1) Le relais téléphoniques employés par l'Administration française ; *R. G. E.*, 25 janvier 1919, t v, p. 151-152.

Digitized by Google

lignes peuvent se transporter gratuitement avec leur matériel le long des lignes dans les trains des compagnies. Ce droit suffit pour attribuer à la construction des lignes aériennes le long des voies ferrées un avantage considérable sur toute construction empruntant les routes nationales. Les Administrations ne peuvent évidemment faire abstraction de ce privilège. Elles trahiraient les devoirs de leur position si elles l'abandonnaient. Toute la question est de savoir si elles ne sont pas tentées d'exagérer le bénéfice qu'elles en retirent et s'il n'y a pas une part d'erreur dans un attachement attardé à de vieilles méthodes. Peut-on indéfiniment lutter contre une loi naturelle, le seul genre de loi que personne ne puisse enfreindre?

Il ne faut donc pas que notre jugement soit faussé, soit par l'habitude, soit par un trop grand respect des traités : l'intérêt des chemins de fer est d'écarter les lignes télégraphiques, celui de l'Administration est de se faire payer son déplacement. C'est une question financière. Mais l'esprit dans lequel on aborde cette difficulté doit être un esprit de conciliation et il serait fâcheux qu'il y eût des attitudes intransigeantes et des oppositions irréductibles.

Or, dans l'intérêt de la France, qui doit primer tout, on doit espérer que les chemins de fer, dans un avenir prochain, seront électrifiés. Il y aura évidemment dans l'électrification des chemins de fer une économie énorme de combustible, qui pourra être utilisé d'une façon plus profitable dans les industries chimiques ou métallurgiques et dans les installations de chauffage. L'état de nos mines, l'abondance des chutes d'eau concourent à faire adopter cette importante modification.

De toute façon, il faudra toujours que les lignes d'énergie destinées aux chemins de fer soient constituées de façon à troubler le moins possible les lignes à courant faible. Déjà les transformateurs suceurs expérimentés sur le Midi, semblent donner de bons résultats (1). Et il ne faudrait pas croire que ces précautions deviendraient inutiles le jour où les lignes télégraphiques viendraient à être écartées; car, même avec les transformateurs suceurs, cet éloignement s'imposera pour les lignes desservies par des appareils télégraphiques rapides et dont il faut souligner l'importance, en regard des frais élevés des conducteurs et des installations.

6. — Pendant 25 pour 100 en gros du temps des dérangements, on a pu continuer l'exploitation au Hughes, ce qui démontre combien le Hughes est moins sensible aux défauts des lignes que les systèmes à grand rendement :

Il y a deux causes différentes à ces interruptions de service; la première, ce sont les intempéries; la seconde est la plus redoutable, car elle échappe à toute prévision : ce sont les travaux, travaux d'entretien, de déplacements, de remaniement, de construction; les modifications dans les gares entraînent des changements correspondants dans les lignes télégraphiques; il y a aussi les élagages.

Il y a encore le morcellement du service technique par département qui empêche tout concert dans les opérations, en traitant comme un service territorial et régional un service de liaison analogue aux chemins de fer et aux bureaux ambulants.

On voit combien la durée véritable d'utilisation d'une ligne sur poteaux se trouve réduite par des circonstances imprévues.

Tous les ans, au printemps et à l'automne, il y a des lignes démolies et c'est alors que les appareils rapides desservant des lignes souterraines demeurent seuls à faire face au trafic et empêchent les piles de télégrammes d'atteindre des hauteurs démesurées.

7. — Voyant les services que notre réseau français, si peu développé pourtant, rend dans toutes les circonstances pratiques, on est stupéfait de constater qu'il est demeuré le même depuis le temps de Cochery Ier, comme une œuvre frappée de stérilité par une baguette magique qui lui interdit tout développement.

Si l'on faisait un programme d'ensemble, on pourrait le diviser en deux groupes :

Communications par câbles pour relier les centres de dépôt principaux, desservis par des appareils rapides;

Communications par câbles pour relier les localités les plus importantes soit entre elles, soit aux centres de dépôt.

Pour les autres communications, les lignes aériennes seraient sans doute suffisantes.

Il serait peut-être prématuré de chiffrer aujourd'hui la dépense et de comparer les frais de travaux neufs, d'entretien et d'amortissement. Il faudrait au préalable fixer son choix sur les types de câbles à adopter.

Je crois fermement que le plus sage serait d'adopter toujours un système bifilaire, de façon que chaque communication fût assurée par un circuit fermé ayant un fil d'aller et un fil de retour.

Il faut remarquer, en effet, que les lignes souterraines elles-mêmes sont sujettes à être parcourues par des courants, dits courants telluriques, dus à des orages magnétiques et que c'est justement pour obvier à ces inconvénients que sur les communications Paris-Berlin on a prévu des boucles de retour auxquelles on est parfois obligé d'avoir recours au Poste central des Télégraphes de Paris; on augmente la tension en conséquence.

De plus, le double fil permet des combinaisons; enfin il s'impose pour les télégraphes harmoniques, parce qu'il est facile d'avoir l'anti-induction des boucles et que les enveloppes de ruban conducteur destinées à protéger les fils simples ont de nombreux inconvénients.

(1) Voir à ce sujet :

Dachary. Application de transformateurs-suceurs à la ligne électrique à courant monophasé de Perpignan à Villefranche de la Compagnie des Chemins de fer du Midi; *R. G. E.*, 3 mars et 17 avril 1917, t. 1, p. 331 et 535.

Lhériaud. Le retour du courant de traction dans un réseau à courant alternatif monophasé; *R. G. E.*, 18 janvier 1819, t v, p. 91.

Digitized by Google

L'emploi des détecteurs et des amplificateurs amènera probablement la télégraphie à un degré de sensibilité et de délicatesse où les atténuations des courants parasites et les précautions contre les troubles de voisinage ne seront jamais trop grandes.

8. — Nous avons donc en balance l'intérêt des chemins de fer d'une part et celui des télégraphes de l'autre. Je dirais volontiers comme Athalie : ce sont deux puissants dieux!

N'ayant pas les idées aussi absolues que le jeune Eliacin, je crois qu'il faut une transaction. Et je me bornerai ici à essayer de montrer que l'Administration des Postes et Télégraphes ne perdra pas grand'chose en cédant la place.

Tout d'abord, si nous regardons ce qui s'est fait à l'étranger, nous constatons que l'Angleterre s'est construit un très important réseau souterrain; d'autres mieux informés que moi pourront apporter ici des statistiques; mais le fait est certain.

De même, en Amérique, on rencontre un réseau considérable de câbles posés les uns souterrainement, les autres aériennement, et ces câbles sont déjà d'un modèle standard; ils sont posés sur des poteaux en ciment armé, la plupart du temps.

Cette dernière remarque doit attirer notre attention. Les sections souterraines sont, en effet, coûteuses à établir. Si donc il se trouve que le câble puisse être posé aériennement, on peut espérer que les frais de pose seront considérablement réduits. Le Service des études et recherches techniques de l'Administration des Postes et Télégraphes a déjà entrepris des expériences à ce ce sujet et nul doute qu'il ne parvienne à fixer des méthodes de construction faciles à introduire dans la pratique.

La construction et la surveillance par les trains réguliers est économique; mais n'oublions pas qu'aujourd'hui l'automobile nous donne des facilités nouvelles et que bien souvent, en province, en certains nœuds de réseau, on aurait intérêt à envoyer immédiatement une automobile de tourisme à la recherche du dérangement plutôt que d'attendre le premier train prévu sur l'horaire et qui, peut-être, aura du retard.

La construction sur les emprises des chemins de fer nécessite des wagonnets, couverts par des employés de la voie; les travaux sont gênés par la circulation; les moyens mécaniques doivent être réduits au minimum, car un outillage gros ou encombrant risquerait d'occasionner des accidents. On peut, au contraire, constituer des voitures-ateliers pourvus d'appareils de levage, de treuils, de forge pour acérer les pointes de barres à mines, etc., et ces voitures spécialement aménagées existent déjà en Amérique, bien que l'on n'y soit pas encore parvenu à l'établissement d'un type unique ou standard.

Pour diminuer les difficultés relatives aux points critiques (ponts, villages) ou à la propriété privée, il y a intérêt à réunir le plus grand nombre possible de conducteurs sous la même enveloppe.

Quelques années avant la guerre, en 1910, lors de la réunion à Paris de la Conférence internationale des techniciens des Administrations des Télégraphes et des Téléphones, un ingénieur des Télégraphes de Francfort-sur-le-Mein, M. E. Vittichen, posait la question de savoir le genre de réseau télégraphique à adopter pour permettre le développement de l'exploitation au moyen des appareils à grand rendement.

Il faisait remarquer que les appareils rapides sont beaucoup plus sensibles que les autres aux variations d'état des lignes. Bien souvent, un Hughes continue à pouvoir faire le service, alors que le Murray ou le Baudot, surtout s'il est duplexé, est obligé de s'arrêter. Il fournissait même une statistique très intéressante que je reproduis dans le tableau I.

Tableau I.

SYSTÈME	COMMUNICATION	DURÉE DU SERVICE EN HEURES	DURÉE DES INTERRUPTIONS DE SERVICE AU MURRAY OU AU BAUDOT	POURCENTAGE	DURÉE DE CONTINUATION DE SERVICE AU HUGHES	POURCENTAGE DE LA COLONNE 4
1	2	3	4	5	6	7
Murray	Francfort-Hambourg	814	213	26,2 %	77,5 %	36,4 %
Baudot	Berlin-Cologne	735	114	13,5	29,0	25,4
Baudot	Berlin-Paris	913	120	13,1	18,0	15 »
Murray	Berlin-Pétrograd	988	50	5,1	11,5	23 »
	Moyenne			15 » %		25 » %

Ce tableau récapitulatif montre, pour les communications allemandes les plus importantes desservies au Baudot ou au Murray pour les mois de janvier à mars, le rapport des durées des dérangements de ligne à celui des heures de travail effectif. C'est la communication Francfort-Hambourg qui tient la tête pour

Digitized by Google

l'importance des troubles qui ont duré pendant 25 pour 100 du temps de service normal; la moyenne est de 15 pour 100. C'est une perte.

J'emprunte encore à Vittichen quelques chiffres : il met en balance une somme de 618000 marks pour un réseau aérien et 1000000 pour un réseau souterrain ; mais ce dernier chiffre serait aujourd'hui à réduire d'une part à cause de la plus grande capacité des câbles en nombre de conducteurs, d'autre part à cause de la possibilité de poser les câbles aériennement sur une partie de leurs parcours.

Il est donc certain qu'un réseau aérien est moins coûteux qu'un réseau souterrain, comme frais de première installation.

Mais il faut remarquer qu'un fil aérien exige une dépense de 8 marks par an comme entretien et amortissement, alors que la dépense correspondante pour un fil souterrain n'est que de 0,50 mark.

Ajoutons à cela le temps des interruptions dues aux causes diverses que nous avons signalées.

Et notons enfin que la main-d'œuvre deviendra toujours de plus en plus coûteuse.

Et nous conclurons que, tout compte fait, l'intérêt bien entendu du service télégraphique est d'envisager froidement, dès maintenant, une évolution nécessaire.

J.-B. Pomey,
Ingénieur en chef des Télégraphes.

Le labourage électrique dans la région de Meaux

Dans une note publiée dans le numéro du 24 novembre 1917, M. Ach. Delamarre signalait les travaux de labourage électrique effectués à cette époque par la Société générale agricole, avec le concours de l'Omnium Français d'Electricité, dans la région de Meaux et annonçait qu'il se proposait de revenir ultérieurement avec plus de détails sur le matériel employé dans ces travaux. C'est la description de ce matériel qui est donnée dans l'article ci-dessous, reproduction d'un rapport présenté par M. Ach. Delamarre à la Commission des Applications de l'Electricité (5e Commission), présidée par M. Eschwege, de l'Union des Syndicats de l'Electricité. Cette description est suivie de l'indication des résultats obtenus.

Sous l'impulsion de l'Union des Syndicats de l'Electricité qui s'efforce constamment de développer les applications agricoles de l'électricité, l'Omnium Français d'Electricité, qui fournit l'énergie électrique dans les environs de Meaux, parvint à réunir dès 1916 un certain nombre d'agriculteurs pour former la « Coopérative de Culture Mécanique du Multien », qui englobait toute une région (fig. 1) comprenant les communes de : Barcy, Marcilly, Gesvres, Etrepilly, Forfry, Douy, le Plessis, Placy, May-en-Multien, etc. On faisait immédiatement appel aux avances du Crédit agricole et une subvention de 60 000 fr, qui devait représenter le tiers du prix d'achat d'un premier matériel, était obtenue ; en réalité cette avance n'a pu couvrir qu'un peu plus du quart des dépenses engagées. (Depuis, le Ministère de l'Agriculture, par arrêté en date du 8 octobre 1917, a décidé d'accorder aux groupements comptant au moins 7 participants et qui désirent acheter un matériel de labourage électrique, une subvention de 50 pour 100).

Le matériel fut commandé à la Société Générale Agricole qui, dès 1913, se préparait déjà à faire l'entreprise de labourage électrique avec des treuils construits par Jeumont; ces treuils malheureusement restèrent aux mains des allemands et c'est un matériel complètement différent, quoique conçu dans le même esprit, que la S. G. A. a livré à la coopérative du Multien.

Un règlement fut élaboré qui précisait l'organisation du travail ; c'est ainsi que les terres à cultiver ont été divisées en trois zones; chaque année, pendant les trois premières années, on tire au sort la zone par laquelle les travaux doivent commencer, cet ordre est ensuite conservé. Dans chaque zone un premier tour comprend les terres immédiatement prêtes; le deuxième tour est réservé pour les terres humides ou non préparées lors du premier tour. Le prix des labours est fixé à forfait et comprend deux termes : l'un destiné à couvrir les frais d'exploitation proprement dits, c'est-à-dire l'achat de courant, la main-d'œuvre, l'entretien du matériel, etc., l'autre l'amortissement de ce matériel, les frais généraux d'administration, les intérêts du capital engagé. Ce prix varie évidemment suivant le genre de labours et est actuellement (1) établi comme suit à l'hectare :

Labours profonds pour betteraves à 0,30 m de profondeur avec sous-solage de 0,15 m, 80 fr + 30 fr.

Labours moyens pour avoines à 0,20 m/0,25 m, 65 fr + 20 fr.

Labours légers pour blé à 0,15 m/0,20 m, 55 fr + 15 fr.

Mais la Coopérative s'est sagement bornée à ce rôle purement commercial; quant à la partie la plus délicate, c'est-à-dire l'exploitation, les agriculteurs décidèrent de la confier à l'Omnium Français d'Electricité, en lui accordant la part prévue pour cela dans les tarifs ci-dessus. Le contrat suivant réglait les conditions de cette exploitation :

« Article premier. — Le contrat passé par l'Omnium avec la Coopérative Agricole du Nord-Est de Meaux le 5 février 1916 pour l'exploitation d'un matériel de

(1) Vers fin 1917.

Digitized by Google

labourage électrique pendant dix années, reste valable avec la Coopérative de Culture Mécanique du Multien pour la même durée, à partir du 1er octobre 1916.

» Art. 2. — L'Omnium ne devra pas se servir du matériel et de l'outillage pour effectuer des labourages en dehors de la Société.

» Art. 3. — L'Omnium prend à sa charge toutes les dépenses et tous les risques de conduite et d'entretien du matériel et d'exécution des travaux et se substituera en tous points à la Coopérative pour assurer la responsabilité de tous accidents et sinistres et le paiement de tous préjudices causés et indemnités dues.

» Art. 4. — La Coopérative paiera à l'Omnium comme redevance 80 fr par hectare de labours de 0,30 m

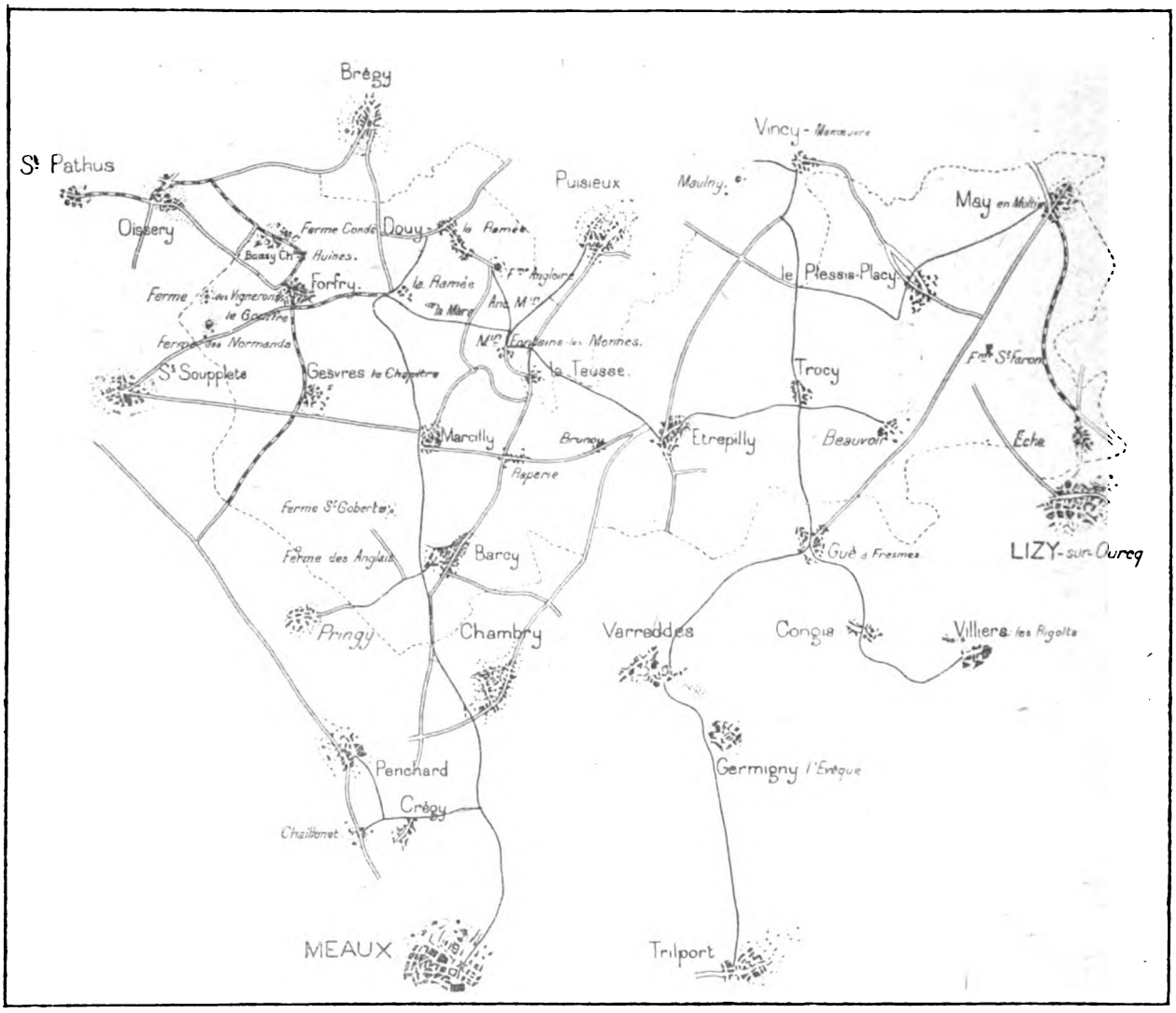


Fig. 1. — Région exploitée par la Coopérative de Culture mécanique du Multien.

de profondeur avec sous-solage de 0,15 m (labours profonds pour betteraves). Les autres labours feront l'objet d'une entente ultérieure sur cette base.

» Art. 5. — La Coopérative garantit à l'Omnium par année le labourage de 600 hectares de labours profonds à 80 fr l'hectare ou l'équivalence en autres labours. A défaut la Coopérative devra payer à l'Omnium une indemnité de 20 fr par hectare de labours profonds manquant.

» Art. 6. — L'organisation des labours devra être faite selon le règlement intérieur.

» Art. 7. — En vue d'inciter le développement de la culture mécanique électrique, l'Omnium envisagera la possibilité de consentir des faveurs particulières aux coopérateurs pour la fourniture de l'électricité et les installations dans leurs fermes. »

Par la suite l'Omnium repassa ce contrat à la Société Générale Agricole qui assure l'exploitation.

A l'heure actuelle le labourage électrique coûte moins cher que le labourage à vapeur ou par tracteur à

Digitized by Google

essence ; les entreprises à vapeur demandent en effet 50 fr par hectare pour les labours à betteraves ; à ce prix il faut ajouter le charbon (450 kg environ à 150 fr la tonne (1), soit 67,50 fr) et l'approvisionnement en eau qui nécessite 2 hommes et 6 bœufs (soit par hectare, pour une surface labourée journellement de 4 hectares : 10 fr) ; le labourage à vapeur revient donc à : 127,50 fr.

D'autre part, dans son rapport sur le budget du Ministère de l'Agriculture, M. Dariac indique, d'après des résultats statistiques fort intéressants, que le prix

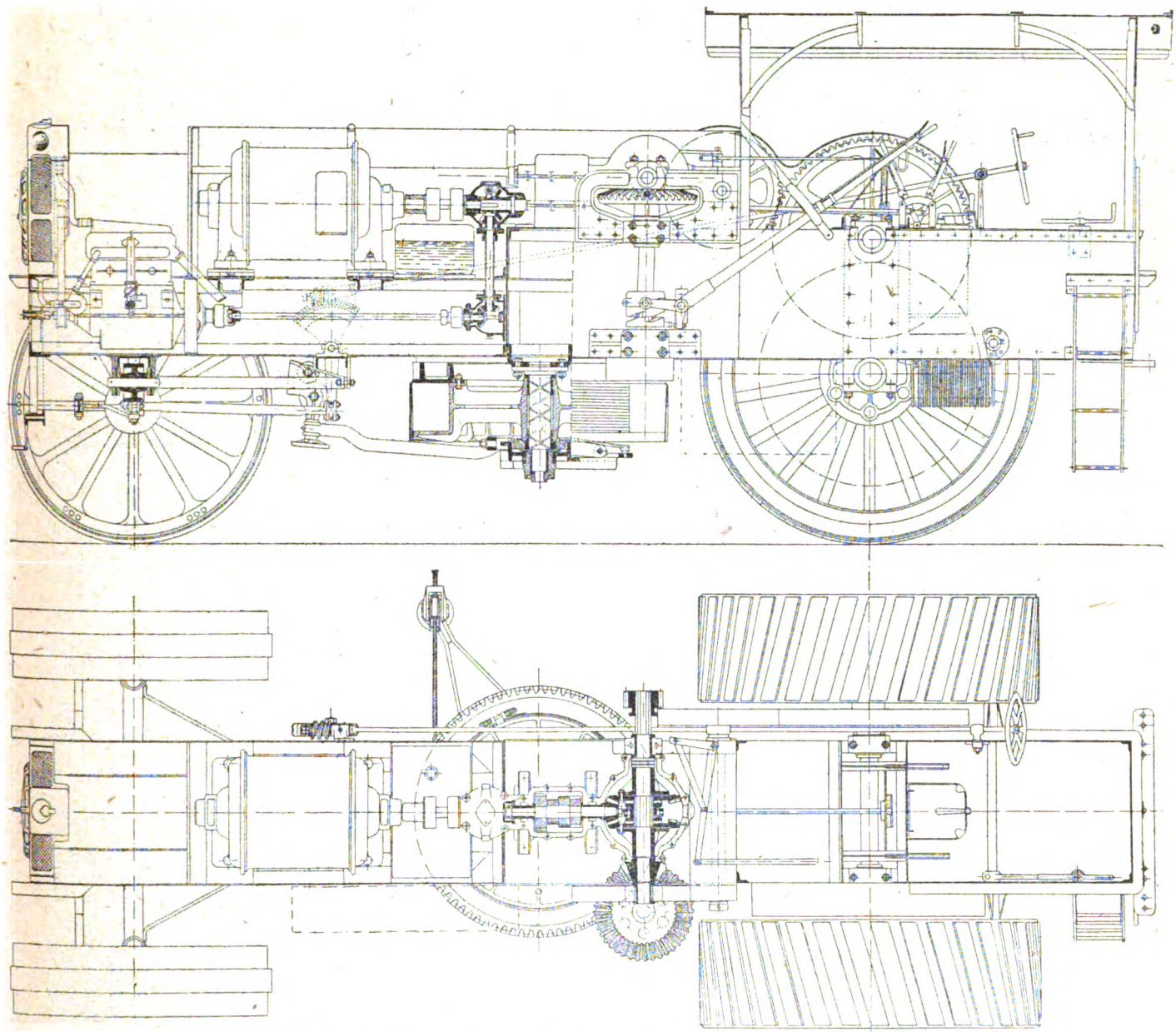


Fig. 2 et 3. — Treuil électrique de labourage de la Société générale agricole vues longitudinale et en plan.

moyen de l'hectare travaillé avec tracteur, en 1917, a varié, non compris les frais généraux, intérêts du capital engagé, amortissement et entretien, entre 70 et 109 fr, avec une moyenne de 98 fr. Or il s'agit de l'hectare *travaillé*, et ce travail comprend non seulement les labours, mais toutes les autres opérations culturales comme la moisson, le scarifiage, le hersage, etc., qui nécessitent une puissance beaucoup moins grande. Enfin les labours qu'on peut exécuter avec des tracteurs sont toujours moins profonds que ceux permis avec les treuils et en tout cas ne sauraient dépasser 20 à 25 cm.

(1) Toujours à l'époque ou fut écrit ce rapport, c'est-à-dire en décembre 1917.

Digitized by Google

En tenant compte de la différence de prix avec les labours à betteraves, on arriverait donc avec les tracteurs (en admettant qu'ils puissent assurer le travail) à un prix oscillant entre 115 et 144 fr. Or les membres de la Coopérative du Multien ne paient le même labourage fait électriquement que 80 + 30 soit 110 fr.

Le labourage électrique n'exige ni hommes supplémentaires, ni animaux de trait pour les charrois de charbon et d'eau, ce qui est appréciable en ce moment ; il est plus régulier, parce qu'il donne à la charrue une vitesse beaucoup plus constante. Il en résulte que, même à égalité de prix, on lui donnerait encore la préférence : je ne veux pas dire par là qu'on doit en profiter pour rechercher des bénéfices exagérés, mais cette remarque montre ce que j'avais déjà fait ressortir à plusieurs reprises : qu'il n'est pas indispensable d'avoir du courant à 0,15 fr le kilowatt-heure au maximum, comme on l'a maintes fois prétendu, pour que le labourage électrique soit possible. Or, si nous voulons le succès, il ne faut pas obliger les secteurs à consentir inutilement des prix de famine, d'autant plus que le facteur d'utilisation de la force motrice agricole, en général, est assez bas.

Des résultats statistiques qu'a bien voulu me communiquer M. Petit, directeur de la S. G. A., il résulte que la consommation de courant à l'hectare varie dans la région de Meaux de 90 à 100 kw h pour les labours à betteraves, de 45 à 47 kw-h pour les labours à avoine et 35 kw-h pour les labours à blé ; ces chiffres, surtout les premiers, peuvent a priori paraître élevés, mais il ne

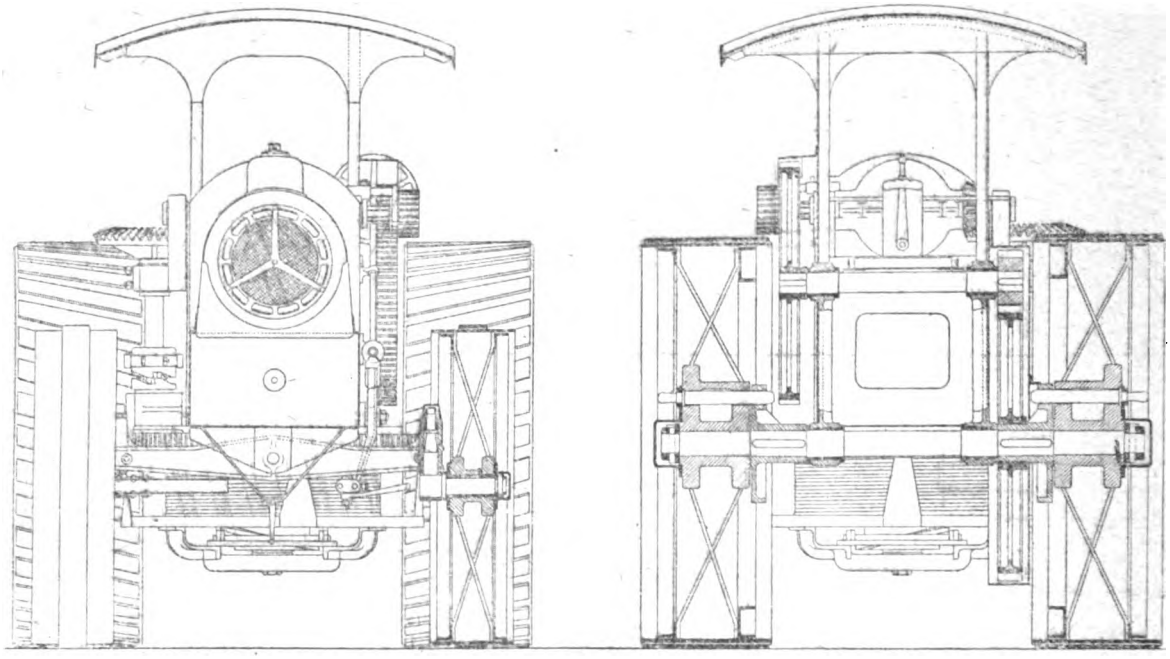


Fig. 4 et 5. — Treuil électrique de labourage de la Société Générale Agricole, coupes transversales et vue en bout.

faut pas oublier qu'on travaille constamment en terres fortes.

Description du matériel. — Le matériel de la S. G. A. est du type lourd ; les treuils doivent normalement assurer leur adhérence par leur propre poids. La méthode appliquée est celle dite « à deux treuils » tirant alternativement la charrue-balance en se déplaçant sur deux fourrières opposées.

Ce matériel comprend :

Deux cabines de transformation sur chariot (avec prises de courant à haute tension aérienne spéciale), ramenant à 750 v le courant triphasé à 15 000 v provenant de la centrale de Meaux ;

Deux treuils, alimentés par ces cabines au moyen d'un câble souple ;

Deux charrues-balances ;

Le matériel nécessaire pour construire 3 km de ligne volante à haute tension, afin de pouvoir atteindre les champs trop éloignés des lignes du réseau ;

Une roulotte-cantine pour les ouvriers.

Les treuils. — Les treuils (fig. 2 à 5) sont montés sur châssis automobile et remorquent tout le matériel accessoire lors des déplacements ; les roues ont un très grand diamètre (fig. 2) : 2,20 m à l'arrière, 1,75 m à l'avant, avec jantes de grande largeur (respectivement 0,70 m et 0,45 m) afin d'éviter qu'elles ne s'embourbent ; elles peuvent en outre recevoir des crampons amovibles.

Le moteur à essence, du type Ballot, 100 mm × 170 mm, 1 100 à 1 500 t : min, a une puissance de 30 à 40 ch ; la transmission se fait par cardan avec embrayage à cône cuir. Le moteur électrique du treuil proprement dit peut

Digitized by Google

également être utilisé pour faire avancer le châssis ce qui rend de précieux services en terrains difficiles.

Ce moteur, marque Oerlikon, triphasé, est à ventilation forcée, type à induit à bagues, bien protégé contre la pluie ; il développe 80 ch à 960 t : min et peut supporter une surcharge de 100 pour 100 instantanée et de 50 pour 100 pendant cinq minutes. Il est commandé par un controller type traction ; un disjoncteur à réenclenchement empêché en assure la protection en cas de surcharges dues à de grosses racines, bornes, etc.

La commande du tambour à câble se fait par un double jeu d'engrenages, dont le premier est enfermé dans un carter étanche rempli d'huile, permettant deux vitesses. Ce tambour est en acier moulé avec frein automatique et est muni du guide enrouleur classique qui a depuis longtemps fait ses preuves sur les treuils à vapeur.

En cas de besoin, le moteur à essence peut également commander le tambour ; un dispositif spécial empêche le fonctionnement simultané de celui-ci et du moteur électrique.

Les deux vitesses du câble sont : avec le moteur électrique 0,89 m à 1,25 m : sec et 1,38 m à 1,95 m : sec, avec le moteur à essence : 0,44 m à 0,89 m : sec et 0,89 m à 1,35 m : sec.

Le treuil entier est protégé par une toiture en tôle ondulée. Son poids est de 18 t.

La cabine de transformation. — Installée sur un châssis en tôle et fers profilés muni de 4 roues, cette cabine (fig. 6, 7) est entièrement métallique. La toi-

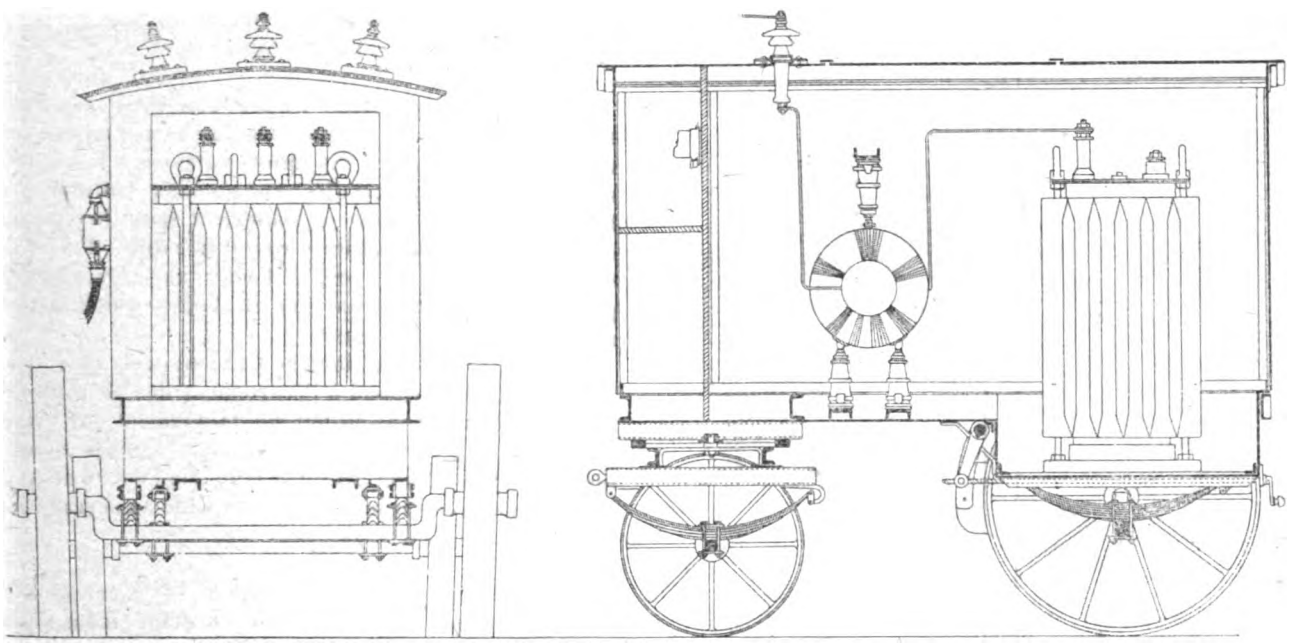


Fig. 6 et 7. — Wagon transformateur de 90 kv-a, 15 000/750 v, courant triphasé, de la Société Générale Agricole.

ture porte 3 isolateurs spéciaux traversés par les fils de prise de courant haute tension. L'intérieur est divisé en deux compartiments séparés par une cloison et munis chacun de leur porte.

Le compartiment d'arrière contient : 3 sectionneurs 15 000 v, 3 bobines de self-induction, un transformateur Oerlikon, triphasé, 15 000/750 v de 90 kv-a avec bain d'huile et couvercle à joint hermétique (afin d'éviter toute projection d'huile pendant les transports), enfin les transformateurs de mesure.

Dans le compartiment avant sont placés : un compteur triphasé équilibré et 3 fusibles-cartouches, du type haute tension, pouvant au besoin servir de sectionneurs et protégeant le départ basse tension dans le cas de mauvais fonctionnement des disjoncteurs des treuils ou de court-circuits dans le câble reliant ces derniers à la cabine.

Les portes de la cabine sont naturellement fermées à clef pour éviter tout accident.

La prise de courant haute tension. — Le courant à 15 000 v est capté sur les lignes du réseau soit au moyen d'épissures fixes, soit au moyen d'une perche spéciale (fig. 8) en bambou munie à sa partie supérieure d'un crochet isolé portant un ressort traversé par le courant et relié au fil de branchement par un fusible ; le ressort assure la rupture brusque de l'arc qui aurait tendance à se former en cas de court-circuit. A sa base, la perche porte une autre armature à laquelle est attaché le câble de branchement ; cette armature est munie d'un pavillon fixé sur une porcelaine.

Au moyen d'une perche passée dans le pavillon isolant, on vient poser le crochet sur un fil de la ligne haute tension. La pose successive de ces trois prises de cou-

Digitized by Google

rant ne laisse pas d'ailleurs que d'être assez délicate et il est incontestable qu'il faudra, dans l'avenir, avoir recours à un système plus sûr, n'exigeant aucune habitude ou dextérité spéciale. Cette prise de courant, malgré son originalité, est à la prise de courant vraiment sûre et pratique, comme l'accrochage ordinaire de deux fils de dérivation d'une lampe provisoire ressemble à une prise de courant porcelaine à deux broches.

Elle serait acceptable à la rigueur, si la manœuvre

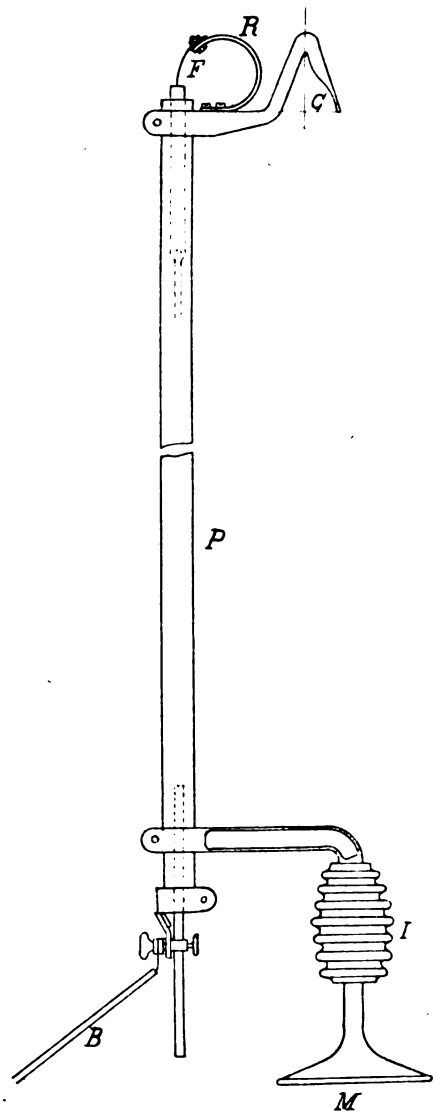


Fig. 8. — Prise de courant haute tension (modèle employé lors des essais, abandonné depuis par la S. G. A.).

devait toujours être faite par temps sec et par des hommes de métier, très adroits. Mais il ne faut pas oublier qu'il s'agit d'applications agricoles, que, par conséquent, on sera amené à généraliser ce système et à l'utiliser par exemple pour des battages, qu'on aura dès lors, un jour ou l'autre, l'habitude conduisant à se jouer du danger, recours à des ouvriers inexpérimentés, et qu'alors l'accident le moins grave qui pourra se produire sera un court-circuit dont auront à souffrir, peut être cruellement, les alternateurs de la centrale.

Aussi les secteurs ne sauraient-ils tolérer que l'on s'accroche au petit bonheur sur leurs réseaux avec un dispositif aussi primitif et peu sûr. M. Petit m'a fait remarquer qu'en Allemagne et en Italie le procédé est courant; ceci ne veut pas dire cependant qu'il soit recommandable et que l'on ne puisse faire mieux.

J'estime au contraire qu'il y aura lieu de placer sur les poteaux, aux endroits où devront se faire des dérivations principales, une prise de courant fixe avec sectionneurs et fusibles; cette prise de courant devra être disposée de façon qu'on ne puisse ni se brancher, ni se débrancher quand les sectionneurs seront fermés; il n'est pas très compliqué de combiner un dispositif de ce genre, simple afin de n'être pas coûteux et qui aura l'avantage de protéger contre tous accidents, et la centrale et le personnel d'exploitation.

Les lignes volantes haute tension. — Pour atteindre les champs éloignés des lignes principales, on est amené à construire des lignes volantes à haute tension. Celles-ci sont installées sur poteaux ordinaires en bois, enfoncés de 0, 60 m seulement dans le sol; les conducteurs sont constitués par des câbles d'acier de 7 mm² de section, on a préféré l'acier au cuivre afin de permettre de grandes portées et d'offrir une tentation moins grande aux voleurs.

Ces câbles sont sectionnés par longueur de 100 m, distance qui correspond à l'écartement des poteaux : la jonction des tronçons se fait mécaniquement sur la tête d'isolateur grâce à deux pièces en acier à dents de scie, disposées d'une façon originale telle que l'effort de traction qui s'exerce sur les câbles contribue au serrage sur la tête de l'isolateur.

Le câble souple basse tension. — C'est un véritable câble armé de 3×25 mm² protégé mécaniquement par une gaine en fil galvanisé tressé; cette armure est mise à la terre

Au début, on n'avait que des tronçons de 150 m que l'on reliait entre eux au moyen de boîtes spéciales, mais celles-ci ayant donné des mécomptes, on y a renoncé et l'on fait usage d'un câble d'une seule longueur.

Le câble de traction. — C'est un câble en acier clair, constitué par 6 torons de 5 fils n° 15, son diamètre est de 20 mm, son poids au mètre de 1,390 kg; il peut résister couramment à une traction de 165 à 170 kg : mm²

Les charrues. — On utilise deux charrues, d'ailleurs du même type classique de Fowler, dit charrue balance, l'une est à six socs, (fig. 9) faisant donc six rayages et destinée aux labours jusqu'à 20 à 25 cm de profondeur; l'autre n'est qu'à quatre socs, et est utilisée pour les labours de 25 à 30 cm, elle possède des fouilleurs permettant de remuer le sous-sol jusqu'à 10 ou 12 cm en dessous du labour.

Digitized by Google

Résultats obtenus. — A l'heure actuelle les 600 hectares que la Coopérative de Labourage avait garantis n'ont pas pu être labourés entièrement, la Société Générale Agricole a dû subir en effet d'assez longs arrêts, les uns dus à la gelée, les autres à des manques de courant ; pendant la saison d'automne-hiver ces arrêts ont dépassé soixante jours. Enfin le matériel a dû être déplacé fréquemment, et il ne faut pas oublier que cette première exploitation doit être considérée comme étant encore dans sa période d'essais.

La moyenne de surface labourée par journée de travail effectif, c'est-à-dire non compris les déplacements, construction des lignes provisoires, organisation du chantier, a été de 4 hectares.

Les moteurs électriques des treuils ont souvent travaillé en surcharge et les disjonctions sont fréquentes, quoique les disjoncteurs soient réglés pour 150 kw. Aussi M. Petit envisage-t-il, dans le prochain matériel, un moteur de 120 ch au moins et des amortisseurs sur le câble de traction.

La marche n'en reste pas moins pratiquement très bonne et on peut dire sincèrement que le matériel a paru se comporter très bien.

J'aurais voulu pouvoir dégager de l'étude des chantiers de labourage électrique du Multien, une conclusion précise; j'aurais voulu aussi examiner quelles sont les conditions d'exploitation qui conduiront au développement rapide du labourage électrique, comment construire et répartir des lignes haute tension fixes dans les champs, afin de réduire au minimum les lignes volantes, montrer, ainsi, d'ailleurs que le conseille M. Dariac dans son rapport, que la meilleure solution consistera fort probablement à constituer des entreprises spéciales qui serviront de lien étroit entre le secteur et les agriculteurs, en garantissant le premier contre toute faute technique ou d'inexpérience et en assurant à l'association formée par les seconds « l'unité de direction de responsabilité et de compétence ». Mais ce serait ouvrir sur certains points des polémiques prématurées et, par conséquent, sans fruit, ce serait aussi sortir du cadre qui m'a été fixé et je me contenterai, en terminant, de souhaiter que l'Omnium Français d'Electricité et la Société Générale Agricole poursuivent le développement de leurs chantiers, qui constitueront un essai pratique de grande envergure, vraiment pratique et certainement fertile en enseignements. D'autres, espérons-le, les suivront à brève échéance. N'a-t-on pas affirmé (1) que les Allemands ont installé chez eux, depuis la guerre, plus de 1 600 matériels de labourage électrique?... Si le fait est évidemment difficile à contrôler, il n'est pas pour surprendre ceux qui connaissent l'esprit de décision et de persévérance de nos ennemis. Resterons-nous, une fois encore, en arrière?...

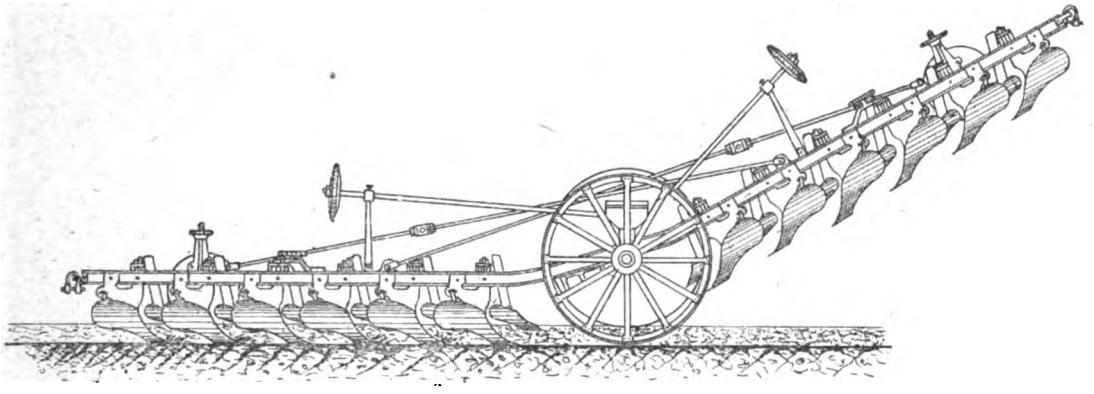


Fig. 9. — Charrue balance de Fowler.

Ach. DELAMARRE.

Revues, analyses et informations

Les ressources de l'Amérique en énergie.

Le but de cet article est de démontrer que, pour utiliser économiquement les ressources des Etats-Unis en énergie, il faut produire de l'énergie électrique partout où existe de l'énergie sous forme hydraulique ou thermique et *recueillir l'énergie électriquement, tout comme on la distribue électriquement.*

Dans la première partie, l'auteur montre qu'aux Etats-Unis l'énergie hydraulique potentielle totale est à peu près égale à l'énergie thermique utilisée totale.

Dans la seconde partie, il montre que l'usine génératrice synchrone moderne est nécessaire pour les grandes puissances hydrauliques, mais que, pour arriver à l'aménage-

(1) Voir *La Victoire* du 23 mars 1918.

Digitized by Google

ment économique des puissances hydrauliques moindres, beaucoup plus nombreuses, il faut adopter l'alternateur asynchrone.

Dans la troisième partie, il considère les caractéristiques de l'alternateur asynchrone, les caractéristiques et le mode de conduite de l'usine à alternateurs asynchrones, et étudie le cas du « décrochage de l'alternateur asynchrone » et le moyen de l'éviter.

Dans l'appendice, il traite la question correspondante pour l'énergie thermique et montre que bien des millions de kilowatts de puissance potentielle, gaspillés en brûlant le combustible et en dégradant ainsi son énergie, pourraient être recouvrés en interposant des turbo-alternateurs asynchrones entre la chaudière et les canalisations de chauffage à la vapeur et en recueillant leur puissance électrique (1).

Ressources disponibles en énergie. — A. *Charbon.* — Les deux seules sources d'énergie qui soient assez abondantes pour être considérées dans l'alimentation de l'industrie moderne sont le charbon, en y comprenant le pétrole, le gaz naturel, etc., et l'énergie hydraulique.

On extrait le charbon aux Etats-Unis depuis 1822. Les statistiques montrent qu'actuellement la couche du tonnage extrait, en fonction du temps, est pratiquement une droite et que l'accroissement annuel de ce tonnage est aujourd'hui de 6,35 pour 100. Des chiffres fournis par ces statistiques, on déduit par extrapolation que la consommation de charbon s'élèvera cette année à 867 millions de tonnes.

L'énergie thermique du charbon moyen étant évaluée un peu au-dessus de 7 000 calories par kg, *l'énergie thermique contenue dans une tonne de charbon est à peu près égale à l'énergie électrique d'un kilowatt-an (service de 24 heures par jour).* L'énergie potentielle d'une tonne de charbon vaut donc à peu près 1 kw-an.

Mais comme la conversion de l'énergie thermique du combustible en énergie électrique se fait avec un rendement moyen d'environ 10 pour 100, toute la production de charbon, convertie en énergie électrique, donnerait à peu près 87 millions de kw-an.

En admettant, d'autre part, qu'une moitié seulement du charbon est transformée en force motrice, à un rendement de 10 pour 100, l'autre moitié étant employée comme combustible, pour la métallurgie, etc., à des rendements variant de 10 pour 100 à 80 pour 100, soit en moyenne 40 pour 100, on obtient 217 millions de kw-an comme énergie totale utilisée de la production présente annuelle de 867 millions de tonnes.

B. *Energie potentielle hydraulique aux Etats-Unis.* — Sans s'arrêter aux limites pratiques actuelles des aménagements hydrauliques, qui ne permettent l'emploi que des puissances les plus grandes et les plus concentrées, on peut chercher à se faire une idée de l'énergie hydraulique totale qui existe dans ce pays.

La chute de pluie totale du continent nord-américain, entre 30° et 50° de latitude, représente $3\,000 \times 10^{15}$ kgm (chiffre basé sur des données géographiques et météorologiques), si l'on fait entrer en ligne de compte l'énergie totale fournie par chaque goutte de pluie, depuis la hauteur du point où elle est tombée, jusqu'au niveau de la mer. Ce chiffre équivaut à 950 millions de kw-an.

Cependant, toute cette énergie n'est pas disponible, car il ne resterait plus d'eau pour l'agriculture, et, même si le pays tout entier n'était qu'une vaste installation hydraulique, il y aurait des pertes par infiltration et évaporation. Admettons donc une hauteur de pluie de 12,5 cm pour les pertes et, pour l'agriculture, là où elle est possible, 37,5 et 25 cm respectivement, suivant les régions.

Il reste alors environ $1\,200 \times 10^{15}$ kgm comme énergie potentielle disponible, ce qui équivaut à 380 millions de kw-an. Admettons maintenant un rendement de 60 pour 100 depuis le cours d'eau jusqu'au centre de distribution, nous trouvons 230 millions de kw (service de 24 heures par jour) comme puissance hydro-électrique maximum qu'on pourrait produire, si chaque fleuve, rivière, ruisseau ou ruisselet était utilisé sur tout son cours depuis sa source et en toute saison. Cela signifie qu'il n'y aurait plus d'eau courante dans le pays, mais des étangs d'eau stagnante reliés chacun par des conduites à l'étang immédiatement inférieur. Bien entendu, on ne peut espérer aménager qu'une partie de cette puissance.

C. *Discussion.* — Il est intéressant de noter que l'énergie hydraulique maximum de 230 millions de kw-an est peu supérieure à l'énergie totale que nous retirons maintenant du charbon et est à peu près égale à l'énergie totale consommée dans le pays sous toutes les formes.

Ce résultat, dit M. Steinmetz, fut surprenant pour moi. Ainsi, l'espoir souvent manifesté que, lorsque le charbon commencera à manquer, nous pourrons recourir à la puissance hydraulique, n'est et ne sera jamais qu'un rêve, car si toute la puissance hydraulique du pays était aménagée, et chaque goutte de pluie utilisée, cela n'arriverait pas à satisfaire notre demande actuelle d'énergie. Voilà probablement la meilleure raison des efforts que nous devons faire pour améliorer le rendement de transformation du charbon en énergie.

Une source d'énergie pratiquement illimitée, c'est le rayonnement solaire. On l'évalue, à la surface de la terre, à 1,4 calorie par cm² et par minute. En admettant 50 pour 100 de temps nuageux, cela donnerait en moyenne dans toute l'année (24 heures par jour) environ 0,14 calorie par cm² de surface horizontale et par minute, et sur la surface totale comprise dans l'Amérique du Nord entre 30° et 50° de latitude (8,3 millions de km²) un total de 800 000 millions de kw (24 heures par jour) ou 1 000 fois plus que l'énergie thermique totale du charbon que nous consommons actuellement, 800 fois plus que l'énergie potentielle de la chute de pluie totale.

Si l'on considère que l'énergie potentielle de la chute de pluie, depuis le niveau de la surface arrosée jusqu'au niveau de la mer, n'est qu'une faible partie de l'énergie potentielle dissipée par le rayonnement solaire en élevant l'eau jusqu'aux nuages ; et que celle-ci n'est qu'une faible partie du rayonnement solaire total, ce résultat est vraisemblable.

Si l'on considère seulement les 2,7 millions de kilomètres carrés qui sont regardés comme impropres à la culture, et si l'on admet que plus tard, par des procédés encore à inventer, la moitié du rayonnement solaire pourrait être recueillie, ceci donnerait une production d'énergie de 130 000 millions de kilowatts-an.

Et si l'on pouvait obtenir seulement le dixième de cette énergie, soit 13 000 millions de kilowatts-an, c'est-à-dire plusieurs fois plus que toute l'énergie potentielle du charbon et de l'eau. C'est donc là que serait la grande source d'énergie de l'avenir.

L'usine hydro-électrique. — A. — *La centrale moderne à alternateurs synchrones.* — En aménageant les puissances hydrauliques du pays, on ne s'est occupé jusqu'à aujourd'hui que de celles où la concentration d'énergie est la plus

(1) Charles P. Steinmetz, *Proceedings of the American Inst. of Elect. Eng.*, juin 1918, t. XXXVII, p. 591-615, 7 000 mots, 5 fig., 4 tab.

Digitized by Google

grande, c'est-à-dire où un grand volume d'eau et une hauteur de chute considérable se trouvent disponibles sur une courte distance. C'est ce qui a conduit au type actuel d'usine génératrice hydro-électrique. Le matériel d'une telle usine est le suivant :

Alternateurs synchrones triphasés directement accouplés.

Turbines hydrauliques du meilleur rendement possible.

Mécanisme de régulation de vitesse pour les turbines hydrauliques.

Matériel d'excitation comprenant soit des excitatrices directement accouplées aux alternateurs, soit plusieurs excitatrices séparées, commandées par des turbines séparées.

Barres d'excitation.

Voltmètre et ampèremètre sur les excitatrices et dans les circuits d'excitation des alternateurs.

Rhéostats de champ des alternateurs.

Barres à basse tension, soit en double, soit avec barres de synchronisation.

Disjoncteurs (ordinairement non automatiques) entre alternateurs et barres.

Disjoncteurs entre transformateurs et barres, ordinairement automatiques et à action différée.

Voltmètres et transformateurs de tension aux alternateurs.

Synchronoscopes ou autres appareils de synchronisation.

Ampèremètres et transformateurs d'intensité aux alternateurs.

Voltmètre et transformateur de tension aux barres.

Ampèremètres et transformateurs d'intensité aux transformateurs élévateurs.

Ampèremètre totalisant le débit de l'usine.

Compteur.

Relais, appareils de verrouillage, etc.

Transformateurs élévateurs de tension.

Barres à haute tension (double jeu parfois).

Disjoncteurs à haute tension entre les transformateurs et les barres à haute tension.

Disjoncteurs à haute tension entre les barres à haute tension et les lignes.

Parafoudres sur les lignes de transmission, avec bobines de self-induction, etc.

Détecteurs de terres, extincteurs d'arcs à la terre ou de court-circuit, indicateurs de tension, etc.

Appareils enregistreurs automatiques (enregistreur multiple) rarement employés quoique très recommandables.

Avec ce type d'usine, il est évidemment impossible, dans la plupart des cas, d'aménager des puissances hydrauliques d'importance faible ou moyenne. Une usine génératrice de 1 000 ch sera rarement, et une usine de 100 ch ne sera presque jamais, acceptable au point de vue économique.

Tout au contraire, une installation de force motrice électrique de 100 ch est une entreprise économiquement avantageuse, et l'importance moyenne de toutes les installations de moteurs électriques est probablement fort au-dessous de 100 ch.

Or les données géographiques et météorologiques sur lesquelles s'appuie l'auteur montrent qu'une très grande partie de l'énergie potentielle hydraulique de ce pays est représentée par des superficies relativement faibles et d'altitude élevée, quoique la chute de pluie y soit comparativement peu importante. Ce sont en somme les milliers et milliers de petits torrents et ruisseaux de montagne, à faible débit, mais à pente rapide, qui constituent la grande masse de l'énergie potentielle hydraulique du pays.

Il faut donc établir un autre type d'usine génératrice, beaucoup plus simple, avant de tenter d'aménager économiquement ces milliers de faibles puissances hydrauliques, c'est-à-dire de recueillir la puissance des torrents et ruisseaux de montagne.

B. — *Simplification de l'usine hydro-électrique.* — On se borne ici à considérer le cas où les usines hydrauliques d'importance secondaire contribuent à alimenter un réseau contenant de grandes usines à turbines hydrauliques ou turbines à vapeur, auxquelles on peut abandonner la régulation du réseau.

1° On peut éliminer les barres à basse tension, avec les disjoncteurs d'alternateurs et les disjoncteurs basse tension des transformateurs, et relier chaque alternateur au transformateur correspondant, l'alternateur et son transformateur ne formant ainsi qu'un ensemble ; mettre les interrupteurs sur les barres à haute tension et placer hors du bâtiment les barres et disjoncteurs à haute tension.

Cette simplification, toutefois, laisse subsister les ampèremètres, le voltmètre et les appareils de synchronisation avec leurs transformateurs dans les circuits basse tension.

2° Comme il n'est pas économique de marcher à charge partielle, la meilleure façon d'exploiter une usine hydraulique reliée à un réseau collecteur est de faire marcher autant de groupes à pleine charge que le permet l'eau disponible, et d'accroître ou de réduire le nombre de groupes (turbine-alternateur-transformateur, constamment reliés ensemble) selon la variation du volume d'eau disponible.

Dans ce cas, on peut supprimer les régulateurs de turbines avec leur machinerie hydraulique. Si alors les alternateurs sont subitement débranchés de la ligne par un court-circuit qui fait ouvrir les disjoncteurs, les turbines s'emballent et atteignent leur vitesse de marche à vide, jusqu'à ce qu'on ait fermé les vannages à la main. Si cela a des inconvénients, on peut employer un appareil simple arrêtant l'écoulement d'eau en cas d'excès de vitesse.

3° Ayant abandonné la régulation des turbines, et marchant continuellement à pleine charge, on peut se demander si les ampèremètres d'alternateurs sont nécessaires, puisque la charge est constante et égale à toute la puissance que l'eau peut donner. Mais, avec les alternateurs synchrones, le courant ne dépend pas seulement de la charge, mais aussi du facteur de puissance de la charge, et, avec un facteur de puissance très bas, dû à une excitation défectueuse, les alternateurs peuvent chauffer par excès de courant, sans qu'il y ait excès de charge en puissance. Il faut donc des ampèremètres avec les alternateurs synchrones. Mais dès qu'on adopte les alternateurs asynchrones, on peut se passer des ampèremètres et de leurs transformateurs d'intensité, le courant et son facteur de puissance étant déterminés par la charge. En même temps, les appareils de synchronisation deviennent inutiles, ainsi que les transformateurs de potentiel, voltmètres d'alternateurs, etc. On peut garder un voltmètre d'usine, mais il n'est pas nécessaire non plus, la tension et la fréquence étant fixées par l'usine synchrone principale, régulatrice du réseau.

4° Avec l'adoption de l'alternateur asynchrone, tout le matériel d'excitation est éliminé, cette machine étant excitée par des courants déphasés en arrière reçus des machines synchrones, des lignes et câbles du réseau. Les excitatrices, leurs barres, leurs ampèremètres et voltmètres, les rhéostats de champ des alternateurs, en un mot la plupart des appareils auxiliaires de l'usine synchrone disparaissent.

On arrivera à l'aménagement économique des puissances

Digitized by Google

hydrauliques peu importantes par l'adoption de l'alternateur asynchrone.

L'usine hydro-électrique d'importance secondaire comprendra alors :

Turbines hydrauliques du type le plus simple, marchant continuellement à pleine charge, sans régulateurs.

Alternateurs asynchrones à basse tension directement accouplés aux turbines.

Transformateurs élévateurs directement reliés aux alternateurs asynchrones.

Disjoncteurs à haute tension reliant les transformateurs-élévateurs à la ligne de transmission. Dans les usines de puissance faible, on peut même s'en dispenser et les remplacer par des sectionneurs et des fusibles.

Parafoudres sur la ligne de transmission, là où les conditions climatériques ou topographiques les rendent nécessaires.

Un voltmètre d'usine, un ampèremètre totaliseur ou un compteur et un indicateur de fréquence peuvent être ajoutés pour renseigner le surveillant de l'usine, mais ne sont pas nécessaires, la tension, le courant, la puissance fournie et la fréquence étant réglés par l'usine principale, ou déterminés par le volume d'eau disponible.

Mais il ne faut pas oublier que *la simplicité de l'usine à alternateurs asynchrones résulte de ce qu'on y abandonne toutes les fonctions d'excitation, de régulation et de contrôle aux usines synchrones principales* du réseau. Elle ne peut donc pas remplacer ces dernières.

C. — Usines génératrices automatiques. — Grâce à cette énorme simplification, il paraît très praticable d'établir des usines hydro-électriques d'importance secondaire entièrement automatiques, fonctionnant sans autre surveillance qu'une visite journalière ou hebdomadaire.

Une telle usine comprendrait une turbine avec un alternateur asynchrone à basse tension, abrités sous un hangar, et un transformateur élévateur au dehors, branché sur la ligne au moyen de fusibles à action différée et de sectionneurs.

Ce qui fait la valeur de l'alternateur asynchrone, cependant, ce n'est pas tant la réduction du coût d'établissement de l'usine génératrice, que la réduction du coût de l'aménagement hydraulique, en permettant d'appliquer à la génératrice électrique le même principe qui a valu un tel succès économique au moteur électrique : *Recueillir la puissance par l'électricité, tout comme nous la distribuons par l'électricité.*

Nous n'allons pas aujourd'hui, comme au temps de la machine à vapeur, convertir la puissance électrique en puissance mécanique en un seul point, par un seul énorme moteur, et distribuer cette puissance mécaniquement, par courroies et arbres de renvoi ; nous distribuons la puissance électriquement, par des conducteurs, et nous convertissons la puissance électrique en puissance mécanique, là où celle-ci est demandée, par des moteurs séparés répartis dans les usines et manufactures.

C'est de la même manière que nous devons convertir la puissance hydraulique, c'est-à-dire mécanique, en puissance électrique, au moyen d'alternateurs séparés installés le long des cours d'eau, et recueillir cette puissance électriquement, par des lignes collectrices à tension moyenne et des lignes de transmission à haute tension, de façon à éliminer la plus grande partie du coût de l'aménagement hydraulique. Si l'on cherche à recueillir la puissance mécaniquement, c'est-à-dire par une installation hydraulique rassemblant les eaux de toutes les rivières et ruisseaux d'un territoire en une seule grosse station, pour l'y convertir en puissance électrique, le coût de l'installation hydraulique la rend économiquement impossible sauf dans des conditions exceptionnellement favorables ; là où une très forte puissance est disponible dans un territoire restreint, ou bien là où la nature a fait le travail pour nous en concentrant une grande puissance dans une chute d'eau, etc.

Nous emploierons donc des alternateurs asynchrones dans ces petites stations séparées tout comme nous employons des moteurs asynchrones dans les installations de force motrice séparées, mais là où une grande puissance est disponible, là est le domaine de l'alternateur synchrone.

Au début et pour une certaine période à venir, nous ne chercherions pas à réaliser des puissances aussi faibles, à beaucoup près, avec les alternateurs qu'avec les moteurs asynchrones. Mais bien des millions de kilowatts hydrauliques pourraient être utilisés au moyen de stations d'alternateurs asynchrones d'une puissance égale ou supérieure à 50 ch, et cela avec des hauteurs de chute suffisantes, n'exigeant pas des machines à vitesse trop lente.

Il ne faut pas confondre faible puissance et puissance à basse chute. Dans les parties inférieures de nos cours d'eau, il y a des puissances hydrauliques qui sont relativement faibles à cause de leur basse chute et qu'on ne peut pas, économiquement, recueillir au moyen de l'alternateur synchrone, à cause de cette faible hauteur de chute et de la faible vitesse correspondante. Les caractéristiques de construction de l'alternateur asynchrone ne sont pas meilleures, en ce qui concerne les machines à faible vitesse, que celles de l'alternateur synchrone, et le problème de l'utilisation économique des basses chutes attend encore sa solution.

L'USINE A ALTERNATEURS ASYNCHRONES. — A. — *Caractéristiques de l'alternateur asynchrone.* — Si, par application de puissance mécanique, on fait marcher un moteur asynchrone au-dessus du synchronisme, le courant et la puissance augmentent, mais la puissance électrique change de signe, et la machine d'induction absorbe de la puissance mécanique en fournissant de la puissance électrique.

Dans une telle machine asynchrone, le courant réactif est minimum au synchronisme et croît avec le glissement, que ce glissement soit au-dessus ou au-dessous du synchronisme. Donc la machine asynchrone consomme toujours un courant décalé en arrière (représentant le courant d'excitation et les tensions de réactance) ou, ce qui revient au même, produit un courant décalé en avant. C'est ce dernier mode d'expression qu'on emploie souvent avec les alternateurs asynchrones, en disant que le courant produit par l'alternateur asynchrone est décalé en arrière. Cependant, au lieu de dire que la composante réactive du courant produit par l'alternateur asynchrone est décalée en avant, on peut dire, ce qui est souvent plus intelligible, que l'alternateur asynchrone produit un courant watté et absorbe un courant réactif décalé en arrière, tandis que le moteur asynchrone absorbe un courant watté et absorbe un courant réactif décalé en arrière.

Donc, l'alternateur asynchrone (et de même le moteur asynchrone) absorbe un courant réactif décalé en arrière, qui est fourni par les alternateurs synchrones, les moteurs synchrones, les commutatrices, etc., et par la capacité des lignes et des câbles Ou encore on peut dire que le courant décalé en arrière absorbé par l'alternateur asynchrone neutralise le courant en avance absorbé par la capacité des lignes et des câbles. Ou enfin on peut dire que le courant en avance produit par l'alternateur asynchrone alimente la capacité des lignes et des câbles.

Digitized by Google

La figure 1 représente les courbes de couple, à tension constante aux bornes, d'une machine asynchrone de moyenne puissance. M est le couple fourni par le moteur asynchrone, au-dessous du synchronisme, et G le couple absorbé par l'alternateur asynchrone au-dessus du synchronisme (le synchronisme étant représenté par la vitesse 100 pour 100). T est la courbe de couple qu'on admet pour une turbine hydraulique. On voit que le point P où G et T se rencontrent est à 4 pour 100 au-dessus du synchonisme, donc cet alternateur marche à pleine charge avec un glissement de 4 pour 100 au-dessus du synchronisme. Supposons que la charge soit brusquement supprimée, par l'ouverture des disjoncteurs. La turbine accélère alors jusqu'à 80 pour 100 au-dessus du synchronisme, point où le couple T s'annule. Si, à cette vitesse de marche à vide de la turbine, on referme le circuit et remet la tension sur l'alternateur asynchrone, le couple élevé absorbé par cet alternateur oblige la turbine à ralentir, et comme à toutes les vitesses au-dessus de 104, le couple absorbé par l'alternateur est bien plus grand que celui que donne la turbine, celle-ci ralentit rapidement jusqu'à cette vitesse 104 et la stabilité se rétablit.

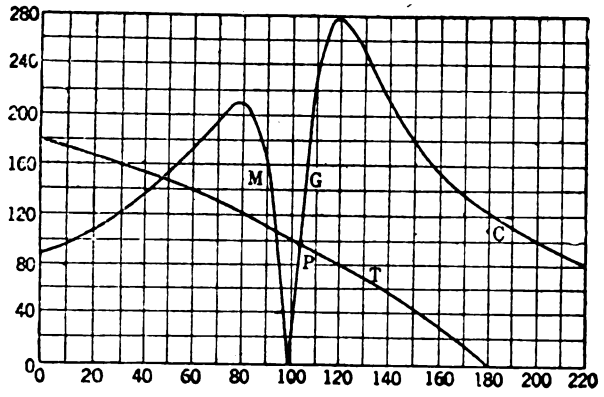


Fig. 1. — Petite installation hydro-électrique à alternateur asynchrone. — Tension constante aux bornes.

Inversement, si l'arrivée d'eau était coupée, la machine ralentirait jusqu'un peu au-dessous du synchronisme et continuerait à tourner alors comme moteur.

Pour démarrer, on peut fermer le circuit avant d'ouvrir l'admission d'eau et mettre en mouvement la turbine par la machine asynchrone fonctionnant en moteur. Le couple suit la courbe M, fait monter la vitesse jusqu'à la valeur de 100 et alors, en ouvrant l'admission d'eau, la vitesse augmente de 4 pour 100 et par suite la machine devient génératrice et prend la charge. Ou encore, on peut démarrer la turbine par ouverture du vannage, monter jusqu'à la vitesse 180, puis fermer le circuit; la machine asynchrone, en prenant la charge, fait baisser la vitesse jusqu'à la valeur normale.

Avec les machines d'une certaine puissance, le meilleur mode de démarrage serait probablement d'ouvrir d'abord partiellement le vannage et quand la turbine aurait pris une certaine vitesse, par exemple entre 95 et 105, on fermerait le circuit et on ouvrirait complètement le vannage.

B. — *Conditions d'instabilité de l'alternateur asynchrone.* — D'après la figure 1, le couple absorbé par la machine asynchrone, à toutes les vitesses de la turbine au-dessus de la vitesse de pleine charge P, est beaucoup plus élevé que le couple de la turbine. Cependant, la courbe de couple de l'alternateur (G) a une partie concave, marquée C et si l'alternateur était tel que cet arc C vint au-dessous de la courbe du couple de la turbine (T), la vitesse, une fois accrue au delà de la région C, ne reviendrait pas d'elle-même à la normale. Or, il peut en être ainsi. L'auteur fait remarquer, en effet, que le cas d'une tension constante aux bornes de la machine, admis dans la figure 1, ne correspond pas à la réalité : c'est à la grande usine synchrone régulatrice que la tension sera maintenue constante, tandis qu'elle variera avec la charge à l'usine asynchrone. Si l'on admet (cas extrême) que la ligne qui réunit ces deux usines a une résistance de 10 pour 100 et une réactance de 20 pour 100, la courbe G (ainsi d'ailleurs que la courbe M) s'élèvera beaucoup moins haut et l'arc C sera très voisin de la courbe T, cependant il sera encore au-dessus. Quant au point de pleine charge P, il sera encore à un glissement d'environ 4 pour 100 au-dessus du synchronisme. Mais si l'on considère une machine asynchrone d'un glissement beaucoup moindre, en se plaçant encore dans le cas (réalisé en pratique) d'une tension maintenue constante à l'usine synchrone et en admettant pour la ligne de liaison entre les deux usines les constantes qu'on vient de citer, il en est autrement. Soit, par exemple, une machine pour laquelle la résistance du rotor n'est que la moitié de ce qu'elle était pour la machine de la figure 1 ; on a les conditions représentées dans la figure 2. Le point de pleine charge P est à la vitesse 102 (2 pour 100 au-dessus du synchronisme), l'arc C tombe au-dessous de la courbe T, et la courbe G (couple de l'alternateur) coupe la courbe T (couple de la turbine) en trois points : P, P_1 et P_2. Ces trois vitesses théoriques sont P = 102, P_1 = 169 et P_2 = 113,5 ; deux d'entre elles, P et P_1 sont stables; la troisième P_2 est instable : quand la vitesse est au point P_2, elle doit ou bien décroître, pour atteindre l'état stable au point de pleine charge P, ou bien croître jusqu'à P_1.

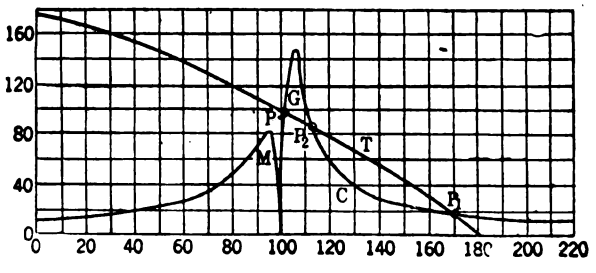


Fig. 2. — Grande installation hydro-électrique à alternateur asynchrone. — Tension constante à l'usine synchrone principale.

Donc, si — par exemple en cas de coupure de la ligne — la turbine avait accéléré jusqu'à sa vitesse libre 180, la refermeture du circuit ne ramènera pas la vitesse à sa valeur normale P; les machines ne ralentiront que jusqu'à la valeur P_2, où la stabilité sera atteinte, à une puissance très faible et avec des courants déphasés en arrière très intenses dans l'alternateur asynchrone. Pour revenir à la condition normale, il faudrait fermer l'admission d'eau, assez du moins pour que la courbe T du couple de la turbine tombe au-dessous des valeurs C et laisser ensuite les machines ralentir jusqu'au synchronisme. Elles ne tomberont pas au-dessous du synchronisme, même avec les vannages entièrement fermés, car la machine asynchone en tant que moteur (courbe M) maintient la vitesse.

Digitized by Google

Ce « décrochage de l'alternateur asynchrone », comme on peut dire par analogie avec le moteur asynchrone, n'est cependant pas une sérieuse difficulté pratique. Dans les petites usines, celles qu'on exploiterait sans personnel, ce trouble ne se présenterait pas, comme le montrent les courbes de la figure 1. Les machines de résistance faible, comme celle à laquelle se rapporte la figure 2, sont relativement puissantes et installées dans les usines plus importantes. Il y aurait dans celles-ci, ou bien un agent pour fermer les vannages, ou bien une vanne automatique fonctionnant en cas d'excès de vitesse, de manière à maintenir les turbines à moins de 10 pour 100 de la vitesse de synchronisme, ce qui empêcherait tout décrochage.

Appendice. — Comme pour la puissance hydraulique, on peut chercher à recueillir les innombrables petites quantités d'énergie mécanique ou électrique qui se trouvent disponibles partout où on brûle du combustible en vue du chauffage. Ce chauffage se fait le plus souvent par la vapeur. Si nous produisons la vapeur à haute pression, comme on le fait déjà dans bien des cas pour raisons d'économie, et si nous interposons entre la chaudière et le système de chauffage une turbine à vapeur à haute pression de modèle simple, accouplée directement à un alternateur asynchrone, relié lui-même au réseau de distribution général, l'électricité sera engendrée comme « sous-produit » du chauffage. Le rendement sera d'environ 100 pour 100, car toute énergie qui sera dissipée par le rendement imparfait de la turbine à vapeur restera sous forme de chaleur dans la vapeur. Si le rendement total, de l'énergie thermique du combustible à l'énergie électrique, était seulement 3 pour 100, cela signifie qu'il faudrait brûler 3 pour 100 de charbon de plus, pour fournir le même nombre de calories aux appareils de chauffage. Pour une quantité d'énergie moyenne de 30000 kilojoules par kilogramme de charbon, cela donnerait par tonne de charbon 900000 kilojoules ou 250 kw-h.

C. — *Turbo-alternateur asynchrone.* — C'est un véritable crime économique que de brûler du charbon pour le chauffage seul, sans en retirer d'abord autant d'énergie de forme supérieure, mécanique ou électrique, qu'il est économiquement possible. Au moyen de groupes turbine à vapeur-alternateur asynchrone, on peut recueillir l'énergie thermique disséminée dans les multiples installations de chauffage des villes, comme les groupes turbine hydraulique-alternateur asynchrone recueilleront l'énergie des cours d'eau. Mais le prix plus bas de l'installation à vapeur permettrait de descendre, jusqu'à des puissances plus faibles, quelques kilowatts peut-être.

D'une table donnée par l'auteur, il ressort que la puissance moyenne du groupe électrogène à installer, pour récupérer une partie de l'énergie thermique dans les installations de chauffage, serait d'environ un quart à un demi-kilowatt par tonne de charbon brûlé annuellement et qu'on peut admettre une récupération moyenne de 600 kilowatt-heures par tonne. Pour 100 millions de tonnes de charbon brûlé chaque année pour le chauffage, cela donne un total de 60000 millions de kilowatts-heure par an. Un quart seulement de ce chiffre représente plus d'énergie électrique qu'on n'en produit aujourd'hui au Niagara, à Chicago, à New-York et dans quelques autres des plus vastes réseaux électriques réunis.

P. L.

Notes pratiques

Accouplement rapide de deux dynamos. — Ayant été amené au cours de la guerre à procéder à des installations rapides, nous avons eu besoin dans un cas particulier d'accoupler deux machines livrées avec poulies sensiblement de même diamètre et devant tourner à la même vitesse (moteur triphasé de 30 kw tournant à 950 t : min à accoupler à une dynamo à courant continu tournant à 900 t : min).

La solution la plus simple qui vient à l'esprit aurait été à défaut de manchon d'accouplement de les réunir par une courroie, mais n'ayant pas de courroie suffisante sous la main et désirant éviter les ennuis qui en résultent, nous avons manchonné les dynamos en utilisant leurs poulies de la façon suivante :

Les machines étant boulonnées sur des madriers et leurs axes étant mis dans le prolongement l'un de l'autre, *sensiblement* à la même hauteur, on a percé dans les poulies, parallèlement à une génératrice trois séries de deux trous pouvant laisser passer des boulons de 15 mm de diamètre environ, puis on a découpé dans une courroie trois lanières percées chacune de 4 trous dont deux correspondaient aux trous de la poulie du moteur et deux autres aux trous de la poulie de la génératrice.

Il a suffi de passer les boulons dans les trous en intercalant les lanières de cuir pour réaliser un montage souple et élastique dont le montage a demandé une heure à peine.

Ajoutons qu'au cours de l'exploitation cet accouplement s'est admirablement comporté malgré les violents à-coups qui lui ont été infligés. Il s'est même produit à un moment un léger décentrage des axes qui n'a pas nui au bon fonctionnement. Sans permettre des inclinaisons aussi grandes qu'une transmission à cardan, cet accouplement fonctionne avec un réglage des hauteurs d'axes très rudimentaire. Il

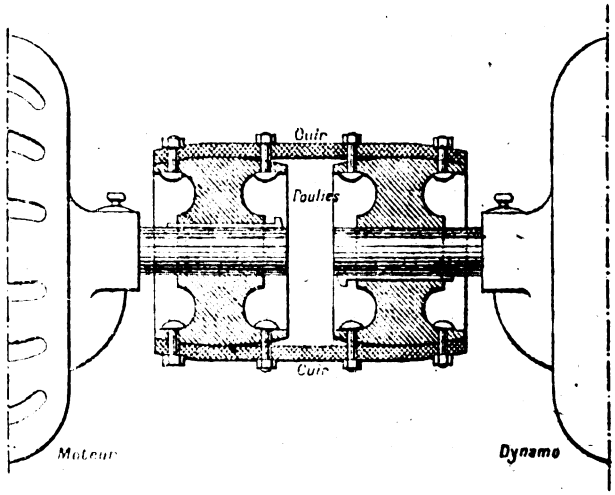


Fig. 1.

nous a pensé qu'il serait intéressant de le signaler aux installateurs que les solutions rapides préoccupent souvent.

A. Soulier.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Société des forces motrices de la Loue.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 26 DÉCEMBRE 1918.

Pendant cet exercice, les difficultés n'ont fait que s'accroître, la raréfaction du matériel et les restrictions du trafic sur le réseau P.-L.-M. ont arrêté presque complètement les travaux de développement des réseaux de la Société. Elle s'est bornée à terminer ceux des communes de Courvières et de Gevresin. Courvières fonctionne maintenant régulièrement, mais les installations intérieures de Gevresin n'ont pu être faites par suite de manque de matériel.

Les accords définitifs intervenus avec le département relativement à l'utilisation de la Loue ont permis d'ouvrir le chantier de l'usine de Mouthier avec de la main-d'œuvre étrangère. Outre les travaux préparatoires (chemin d'accès et usine provisoire de production d'énergie électrique) les travaux sont commencés pour le souterrain et les barrages, le manque de chaux et de ciment retarde l'exécution.

La Société s'est mis d'accord avec la Compagnie électrique de Franche-Comté sur les termes d'un contrat d'échange de courant, cette firme devant lui fournir ses excédents durant les basses-eaux et la Société, en revanche, devra lui fournir ses excédents en hautes-eaux.

Les pourparlers ont été continués avec les différentes communes pouvant être alimentées par les réseaux, un traité a été passé avec la commune de Montperreux qui prend à sa charge tous les frais d'établissement de réseaux primaires et secondaires, ce marché est actuellement soumis à l'approbation de l'administration.

A la demande de la ville de Pontarlier, et après accord avec son concessionnaire d'éclairage, la Société a branché un certain nombre d'abonnés de lumière sur le réseau de distribution de force motrice existant dans cette ville, les travaux ont été faits aux frais des abonnés.

L'exploitation de l'exercice a été normale; les recettes se sont élevées à 388710,40 fr en augmentation de 116057,02 fr. Dans le total des recettes, le secteur de la Compagnie électrique du Jura-Doubs qui n'avait été assimilé que pendant six mois de l'exercice précédent entre pour 66084,28 fr et participe de 34804,66 fr à l'augmentation.

Les dépenses se chiffrent par 260406,36 fr en augmentation de 119736,33 fr attribuables principalement aux achats de courant à la Compagnie électrique du Mont-d'Or et aux frais d'exploitation du secteur du Jura-Doubs. La majoration des salaires ainsi que les prix des matières utilisées pour l'entretien des réseaux et des usines, sont aussi une cause de la progression des dépenses.

Le bénéfice d'exploitation 128304,10 fr, augmenté des bénéfices réalisés sur les ventes au comptant et sur les installations faites pour le compte de la clientèle, forme un total de 190729,24 fr qui, après déduction de tous les frais généraux sociaux et de la charge des emprunts, fait ressortir un bénéfice net de 33227,58 fr, qui est reporté à nouveau. Avec le report précédent, le report total est de 47880,88 fr.

BILAN AU 30 JUIN 1918.

Actif.

	fr
Premier établissement, usines, terrains, réseaux.	4 180 682,26
Frais de constitution,	30 768 »
Mobilier et outillage	23 101,85
Compteurs et matériel en location	56 840,91
Prime de remboursement des obligations	107 074 »
Caisses et banques	180 479,96
Portefeuille	53 250 »
Débiteurs divers	437 111 79
Magasins et approvisionnements	278 730,54
	5 348 039,31

Passif.

	fr
Capital	1 705 000 »
Obligations créées	2 000 000 »
id à la souche	643 000 »
Créditeurs : à long terme	285 500 »
id divers	1 776 148,32
id coupons à payer	38 635,11
Provisions et réserves	137 875 »
Profits et pertes :	
Report des exercices précédents	14 653,30
Solde de l'exercice 1917-18	33 227,58
	5 348 039,31

Omnium français d'électricité.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 12 DÉCEMBRE 1918.

La Société a repris sa marche ascendante malgré les difficultés nombreuses rencontrées pendant la période que nous traversons.

Elle assure actuellement, tant pour son compte que pour celui de filiales ou de Régies municipales, la direction de 85 usines dont 64 usines électriques, 4 usines à gaz et 17 usines à acétylène.

Ces dernières concessions ont été reprises pour y installer l'éclairage et la force motrice électriques.

Les diverses usines alimentent actuellement 140 communes.

Pendant le cours de cet exercice la Société a acquis les droits à la succession Coignet pour la concession des tramways de l'Yonne, affaire à laquelle viendra s'adjoindre une distribution d'énergie électrique dans ce département. Des résultats heureux sont prévus pour cette importante affaire.

D'autres projets d'absorption d'affaires intéressantes sont en cours.

Les produits industriels et commerciaux ainsi que les

Digitized by Google

produits des engagements sociaux ont augmenté d'une façon à peu près égale.

Les profits sont en augmentation de plus de 100 000 fr, mais par contre les bénéfices n'ont pu s'accroître d'une façon parallèle, en raison de l'augmentation des appointements, main d'œuvre et frais généraux de toutes sortes.

Les bénéfices s'élèvent à 208 110,24 fr. Sur cette somme, il est prélevé 5 pour 100 pour la réserve légale, 5 pour 100 de dividende, 10 pour 100 au Conseil d'administration et 3 pour 100 de dividende supplémentaire ce qui fait un total de 210 175,98 fr.

En ajoutant le rapport de l'exercice précédent 131 014,63 fr au bénéfice, on obtient 339 124,87 fr. Déduisant de ce total la répartition énoncée ci-dessus, il reste à reporter à nouveau 128 948,89 fr.

Le dividende de 8 fr par action ancienne sous déduction des impôts, sera payé en échange du coupon n° 6 à partir du 15 février.

BILAN AU 30 JUIN 1918.

Actif.

	fr
Fonds de commerce	1 »
Frais de constitution et d'émission	1 »
Mobilier et matériel	1 »
Immeuble du siège social	124 164,90
Portefeuille à long terme	631 890 «
Cautionnements	138 137,25
Participations financières	742 357,72
Secteurs en propriété	551 826,32
Matériel pour la location	1 »
Travaux en cours	147 538,42
Magasins	70 752 90
Secteurs en voie de constitution	961 810,03
Installations en préparation	78 069,18
Comptes courants :	
Filiales	1 002 654,01
Communes	33 690,19
Clients divers	538 133,10
Consortium	285 432,88
Caisse	17 676,91
Banques	88 180,06
Effets à recevoir	331 435 43
Actionnaires	16 188,15
A reporter	5 777 941,45
Report	5 777 941,45
Coupons à encaisser	30,52
Portefeuille négociable	112 931,50
	5 890 903.47

Passif.

Capital :	
Actions	2 400 000 »
Obligations	650 000 «
Réserve légale	57 711,22
Réserve extraordinaire	65 000 »
Provisions :	
Pour amortissements	685 927,99
Pour travaux en cours	60 000 »
Pour risques de guerre	181 530,38
Créances à court terme	624 643,98
Créances à long terme	826 965,03
Report des exercices précédents	131 014,63
Bénéfices	208 110,24
	5 890 903.47

Compagnie générale de Travaux d'éclairage et de force (anciens établissements Clémançon).

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE EXTRAORDINAIRE DU 15 JANVIER 1919.

Les actionnaires se sont réunis pour reconnaître, après vérification, la sincérité de la déclaration de souscription de 4 000 actions de 250 fr chacune, représentant l'augmentation du capital de 1 million de francs décidée à l'Assemblée générale extraordinaire du 1er octobre 1918, et du versement chez Me Cottin, notaire à Paris, du montant de ces actions et d'une prime de 25 fr par action.

En conséquence, les articles 8 et 9 des statuts sont modifiés et remplacés par le texte suivant :

« ART. 8. — Le capital social qui était à l'origine de 1 700 000 fr divisé en 3 400 actions de 500 fr chacune, sur lesquelles 2 600 actions avaient été attribuées à M. Clémançon en représentation de ses apports, et qui a été depuis successivement réduit et augmenté, est actuellement de 2 500 000 fr, divisé en 10 000 actions de 250 fr chacune (délibération de l'Assemblée générale extraordinaire du 1er octobre 1918).

» ART. 9. — Les actions entièrement libérées seront au porteur ou nominatives au choix des actionnaires. »

ERRATA

Nous signalons à nos lecteurs les erreurs typographiques suivantes qui se sont glissées dans l'article de M. J. Bethenod : « Diagramme des moteurs polyphasés asynchrones tenant compte de la saturation magnétique » paru dans la « R. G. E. » du 21 décembre 1918, t. IV, p. 941.

Page 941, 1re col., 7e ligne par le bas, *lire* flux alternatif efficace en *au lieu de* flux alternatif en.

Page 941, 1re col., 6e ligne par le bas, *lire* sinusoïdaux dans le temps n'est pas *au lieu de* sinusoïdaux n'est pas.

Page 941, note 1, *lire* 1893 *au lieu de* 1913.

Page 942, 2e col., 8e ligne par le haut, *lire* $\frac{E}{x_1}$ *au lieu de* $\frac{E}{x_2}$.

Page 943, figure 3, *lire* Q' *au lieu de* Q sur la droite T Y.

Page 944, formule (14), *lire* ρ_1 *au lieu de* φ_1 au dénominateur de la première fraction du second membre.

Page 945, 1re col., 5e ligne, *lire* (16) *au lieu de* (15).

Page 946, 1re col., 15e ligne, *lire* F_0 *au lieu de* F'_0.

Page 946, 2e col., expression de tg δ, *lire* $-p_1 s^2$, *au lieu de* $-ps^2$ pour le dernier terme du dénominateur.

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF :
Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 9. — 1er MARS 1919.

Chronique. — Les cours de perfectionnement pour les apprentis de l'industrie électrique. — Règles françaises d'unification du matériel électrique. — Election à l'Académie des Sciences. — Bibliographie : Mc Graw Central Station List 1918 (Répertoire des stations centrales des Etats-Unis); Le Maroc en 1918, par Henry DUGARD, p. 321-322.

Section scientifique et technique. — Etat permanent sur une ligne parcourue par un courant sinusoïdal par E. BRYLINSKI, p. 323. — Schémas et description sommaire des appareils utilisant l'émission d'électrons provenant d'un filament chaud, p. 332. — Revues, analyses et informations : Methode d'enregistrement graphique au moyen d'un jet gazeux, p. 334.

Section industrielle. — Le multiple téléphonique interurbain de Strasbourg, par le colonel POMEY, p. 335. — Les carbures, borures et siliciures métalliques, par Jean ESCARD, p. 339. — Note sur les essais et mesures relatifs aux lignes électriques, par L. MOUCHARD, p. 352. — Revues, analyses et informations : Les projets de création de très grands réseaux de distribution d'énergie électrique en Allemagne, Hollande et Suède, p. 353; Une dynamo à courant continu fonctionnant à tension constante sous des vitesses variables, p. 354.

Section économique et financière. — Revues, analyses et informations : La concentration industrielle, p. 355 ; L'école d'apprentissage de MM. Thoumyre fils, à Arques-la-Bataille (Seine-Inférieure), p. 356; Un système américain d'exportation, p. 357. — Assemblées générales : Compagnie générale d'Eclairage de Bordeaux, p. 357; L'Union électrique, p. 358.

Section de législation. — Législation, jurisprudence, réglementation : Décret et arrêtés concernant l'organisation du Comité d'électricité, 359 ; Arrêtés concernant la Commission des distributions d'énergie électrique, p. 359 ; Décret fixant les conditions dans lesquelles les ingénieurs des Arts et Métiers pourront être nommés matelots élèves mécaniciens, p. 360.

Les cours de perfectionnement pour les apprentis de l'industrie électrique. —

A l'occasion du compte rendu qui est donné dans le Bulletin de l'Union des Syndicats de l'Electricité (p. 22 U), de la distribution des diplômes et médailles aux élèves de ces cours, il nous paraît utile de rappeler à nos lecteurs les grandes lignes qui ont présidé à la création de cette œuvre, dont le but est de faciliter la culture intellectuelle des apprentis et de remédier à la crise de l'apprentissage dont se plaint toute l'industrie.

C'est au Syndicat professionnel des Industries électriques que l'on doit cette création.

Après une étude approfondie de la question, le Syndicat a reconnu que ce n'était pas en créant des écoles professionnelles, même s'il y était adjoint des salles d'ateliers, que l'on arriverait à solutionner la question, c'est-à-dire à obtenir les ouvriers habiles dont les industries électriques ont besoin pour permettre leur développement.

C'est seulement à l'atelier que l'apprenti se forme et acquiert l'habileté manuelle qui en fera un bon ouvrier. Ce résultat s'obtiendra mieux et d'autant plus rapidement que l'ouvrier comprendra le travail qu'il exécute ; il était donc intéressant d'organiser ces cours pour lui donner les explications nécessaires et les renseignements pratiques pouvant faciliter son travail.

D'autre part pour que ces cours soient fructueux, il faut qu'ils soient suivis très régulièrement et par des apprentis désireux de s'instruire.

C'est en s'inspirant de ces données que le Syndicat créa en 1911 les cours de perfectionnement d'apprentis mécaniciens-électriciens qui fonctionnent sous la surveillance et avec la collaboration des services de la Direction de l'enseignement primaire de la Seine.

Ces cours, destinés exclusivement aux jeunes gens travaillant dans les établissements faisant partie du Syndicat, ont pour but de compléter l'éducation et la formation technique des apprentis mécaniciens-électriciens.

Ils sont répartis actuellement sur deux années d'apprentissage et comportent :

1° Des notions de géométrie et de calcul étudiées en vue des applications pratiques ressortissant au métier de mécanicien-constructeur (traçage, usinage, montage, etc.);

2° Un enseignement graphique, croquis cotés et dessins à l'échelle ou de pièces détachées de machines, lecture de dessins d'atelier, reconstitution de pièces relevées sur un dessin d'ensemble ;

3° Des notions d'électricité industrielle mise à la portée des ouvriers, et des séances pratiques sur les procédés

Digitized by Google

opératoires, les manipulations et les tours de mains des ouvriers mécaniciens-électriciens ;

4° Un enseignement de technologie sur l'outillage, l'usinage, les montages, et l'utilisation raisonnée des machines-outils fondamentales de l'atelier de construction mécanique.

A la fin de la deuxième année scolaire les apprentis subissent un examen portant sur toutes les matières qui leur ont été enseignées.

Aux jeunes gens qui ont subi avec succès cet examen, il est délivré un « Diplôme de fin d'études » avec attribution de médailles d'argent ou de bronze à ceux qui ont obtenu une moyenne déterminée.

En outre, dans le but d'encourager et d'intensifier les efforts des apprentis, il est décerné chaque année un « Certificat de capacité professionnelle » à ceux des jeunes gens qui, titulaires du Diplôme de fin d'études et arrivant à la fin de leur apprentissage, ont subi avec succès une épreuve manuelle correspondant à celle qui serait exigée pour l'embauchage d'un ouvrier qualifié dans leur profession.

Les cours ont lieu d'octobre à fin juillet, de 17 h et demie à 19 heures, suivant un emploi du temps arrêté au commencement de chaque année scolaire. Ils sont donnés dans les locaux des écoles communales que la Ville de Paris met à la disposition du Syndicat.

Les apprentis admis à les suivre sont autorisés, par leur patron, à quitter l'atelier à 17 heures sans subir aucune retenue de salaire pour le temps prélevé sur la journée normale de travail.

Les cours sont gratuits ; ils sont administrés par un Comité de direction composé de membres de la Chambre syndicale et de l'Inspecteur de l'Enseignement professionnel des écoles de la Ville de Paris (depuis 1911, M. Jully).

Malgré les difficultés créées par les événements actuels, les cours ont pu être suivis pendant le dernier exercice 1917-1918 par un grand nombre d'apprentis qui deviennent les ouvriers habiles dont l'industrie électrique a besoin et auxquels elle assure une large rémunération de leur travail.

Règles françaises d'unification du matériel électrique. — Dans sa séance du 12 décembre dernier le Comité électrotechnique français avait provisoirement adopté les « Règles françaises d'unification du matériel électrique » relatives aux machines électriques (1) et élaborées par ce Comité. Conformément à la procédure ordinaire, le texte fut soumis, avant adoption définitive, à l'examen des diverses sociétés dont les délégués forment le Comité électrotechnique.

Après discussion des observations faites par quelques-unes de ces sociétés, le Comité vient, dans sa séance du jeudi 20 février, de donner son approbation définitive au texte inséré dans le fascicule 10 des publications du Comité, lequel fascicule ne tardera pas à être mis en vente.

Ce texte est divisé en deux parties. La première comprend : « Définitions générales ; définitions particulières ; renseignements utiles pour l'offre et la demande des machines électriques ; marques des machines ; plaques signalétiques ; marques des bornes. » La seconde fixe les « Conditions auxquelles doit satisfaire une machine électrique, commutation, construction mécanique, rendements et pertes ».

Il importe de faire observer que ces règles sont des règles *nationales* et non *internationales*, car elles n'ont pas encore été soumises à la Commission électrotechnique internationale. Il convient toutefois de noter qu'elles tiennent le plus grand compte des décisions antérieures de cette Commission.

Ajoutons que si la date de la prochaine réunion de la Commission internationale (ou plus exactement de la Commission réduite aux délégués des Comités nationaux des puissances alliées ou neutres) n'est pas encore fixée, il paraît probable que le Comité des spécifications, émanation restreinte de la Commission, ne tardera pas à se réunir à Paris.

Election à l'Académie des Sciences. — Dans sa séance du 24 février l'Académie des Sciences a, au premier tour de scrutin, élu M. Daniel Berthelot membre de l'Académie dans la section de Physique générale.

La « R. G. E. » adresse, au nouvel académicien, qui fait partie de son Comité de Rédaction et de son Conseil d'Administration, ses sincères félicitations.

Bibliographie : Mc Graw Central Station List 1918 (Répertoire des stations centrales des États-Unis (1). — Cet annuaire, d'un format particulièrement commode à manier, présente, sous un faible volume, tous les renseignements utiles relatifs aux centrales américaines. Celles-ci sont groupées d'après l'ordre alphabétique des États, et l'on indique, en outre de la puissance de chaque usine et de la nature du courant fourni (tension, nombre de phases, période), diverses particularités de l'exploitation : nature et importance de l'éclairage public, fourniture du courant le jour et la nuit, ou la nuit seulement, prix du charbon. Sont indiqués également les noms et adresses des magistrats municipaux.

L'importance pratique de ces renseignements justifie le succès avec lequel l'annuaire est accueilli chaque année par les électriciens des Etat-Unis, malgré son prix relativement élevé.

Bibliographie : Le Maroc en 1918, Henry Ducard (2). — Dans des études rapides, l'auteur esquisse la conquête progressive du Maroc, la valeur agricole du pays, les villes nouvelles, l'essor commercial. Ce livre est consacré principalement à la colonisation, aux industries à créer, aux importations et particulièrement aux transformations qui se sont produites dans le cours de l'année 1918.

(1) Voir le compte rendu de cette séance. *R. G. E.*, 1er février 1919, t. v, p. 166.

(1) Un volume, 22 cm × 12 cm, relié toile, 797 pages, édité par Mc Graw-Hill Cy, Inc, 10 the avenue at 36 th street New-York. Prix, 15 dollars (75 fr).

(2) Un volume, 19 cm × 12 cm, 286 pages, édité par Payot et Cie, 106, boulevard Saint-Germain, Paris. Prix, 4,50 fr.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

État permanent sur une ligne parcourue par un courant sinusoïdal

Pour l'étude d'une transmission d'énergie par courant alternatif, il y a intérêt à disposer de formules approchées capables de donner rapidement une idée de l'ordre de grandeur des inconnues du problème, au moment de l'établissement du projet. C'est le but du présent travail communiqué récemment à la Société française des Electriciens par M. Brylinski. Par exemple, l'auteur montre comment on peut déterminer la tension E_1 au bout de la ligne connaissant la tension au départ V_1 et la puissance apparente P_a à l'arrivée. Un autre cas traité est celui de la recherche du maximum d'énergie susceptible d'être transmis pour une tension déterminée V_1 au départ. Pour légitimer ses formules approximatives, l'auteur montre que les résultats numériques que l'on en déduit diffèrent très peu de ceux obtenus avec les formules complètes.

I. — La solution de ce problème est acquise depuis longtemps, et il y a bien des années que l'emploi des imaginaires a été indiqué pour faciliter les calculs, d'écriture un peu compliquée dans l'emploi des méthodes habituelles. Il serait téméraire de prétendre apporter des résultats nouveaux sur un terrain aussi profondément labouré et l'exposé qui suit n'est donné qu'en raison de sa simplicité relative.

II. — Envisageons d'abord les conditions aux limites.

Dans l'industrie, on a généralement à assurer l'alimentation d'un réseau d'utilisation dont les besoins sont connus, et par conséquent la tension maximum E_1, le courant maximum I_1 et le déphasage φ_1 de ce réseau sont des données du problème.

Il y a cependant lieu de formuler une remarque sur ce point. La connaissance de la tension du réseau d'utilisation ne donne pas la tension E_1 à l'arrivée de la ligne par suite de l'existence, nécessaire dans tous les transports de quelque importance, d'un poste de transformation intercalé entre la ligne et le réseau d'utilisation.

On connaît en réalité le déphasage φ_1, qui diffère peu de celui du réseau d'utilisation et la puissance à l'arrivée $P_a \cos\varphi_1$ qui est, au rendement du transformateur près, celle du réseau d'utilisation. Le problème serait donc indéterminé si les nécessités économiques du fonctionnement du transport n'obligeaient pas à réduire la tension au départ et la section des conducteurs dans la limite où le permettent la chute de tension et le rendement électrique du transport, qui dépendent étroitement de ces deux éléments.

D'autre part, dès qu'on arrive à des transports importants de grande longueur, on est obligé d'employer au départ la tension maximum actuellement réalisable, ce qui détermine E_1 a priori, et l'on ne dispose plus que de la section des conducteurs pour limiter à une valeur acceptable la chute de tension. Cette section elle-même est limitée dans la pratique, de sorte qu'il arrive un moment où l'on est obligé de réduire la puissance P_a et l'on constate que dans certains cas la puissance que peut transporter la ligne est assez étroitement limitée. C'est là une circonstance connue depuis longtemps et sur laquelle nous reviendrons dans la suite.

Il arrivera parfois qu'on définisse le réseau d'utilisation par sa résistance, sa self-inductance et sa capacité; on voit immédiatement, sans qu'il soit besoin de rappeler des formules connues, que ce cas se ramène au précédent.

III. — Considérons dès lors une ligne de longueur l, dont R, L, C et G représenteront les résistance, self-inductance, capacité et conductance de fuites totales, en supposant l'origine des espaces à l'arrivée de la ligne. Nous n'envisagerons que l'état permanent de pulsation ω, et, en raison des nombreux travaux (1) qui ont paru sur la question, nous passerons très rapidement sur la mise en équation et le développement des calculs.

Les équations du problème sont

$$(1) \qquad l^2 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = (GR - \omega^2 CL)\, v + (CR + GL) \frac{\partial v}{\partial t},$$

$$(2) \qquad l \frac{\partial v}{\partial x} = Ri + L \frac{\partial i}{\partial t}.$$

Supposons que la tension soit de la forme Ee^{jt}, où j est le symbole des imaginaires et où E ne sera plus fonction que de x, et posons pour simplifier l'écriture

$$(3) \qquad \begin{cases} R = Z_p \cos\psi, \\ \omega L = Z_p \sin\psi; \end{cases}$$

$$(4) \qquad \begin{cases} G = S \cos\theta, \\ \omega C = \psi \sin\theta; \end{cases}$$

(1) Il ne paraît pas utile de rappeler tous ces travaux. Nous nous bornerons à citer les *Leçons d'Electrotechnique générale* de M. P. Janet (t. II, chap. III) dont l'éloge n'est plus à faire. Les notations que nous avons adoptées se rapprochent beaucoup de celles de M. P. Janet.

Digitized by Google

$$(5)\qquad \begin{cases} \alpha' = \sqrt{Z_p S}\cos\dfrac{\psi+\theta}{2}, \\ \beta' = \sqrt{Z_p S}\sin\dfrac{\psi+\theta}{2}; \end{cases}$$

$$(6)\qquad \begin{cases} \delta = \dfrac{\theta-\psi}{2}, \\ Z = \sqrt{\dfrac{Z_p}{S}}. \end{cases}$$

Nous voyons immédiatement que l'on a

$$(7)\qquad \begin{cases} E = Ae^{(\alpha'+\beta')\frac{x}{l}} + Be^{-(\alpha'+\beta')\frac{x}{l}}, \\ ZI = e^{j(\delta+\varphi)}\left(Ae^{(\alpha'+\beta')\frac{x}{l}} - Be^{-(\alpha'+\beta')\frac{x}{l}}\right). \end{cases}$$

Il n'y a qu'à repasser aux formules en v et i, prendre leurs conjugées, puis la moyenne des solutions obtenues qui est également une solution, puisque les équations sont linéaires, pour arriver à la tension et au courant sinusoïdaux qui correspondent à la réalité. Les conditions à l'arrivée déterminent les constantes A et B et l'on obtient finalement, en mettant les résultats sous la forme habituelle,

$$(8)\qquad \begin{cases} v = V_x\cos(\omega t + \xi), \\ i = I_x\cos(\omega t + \xi - \varphi), \end{cases}$$

avec les valeurs ci-après

$$(9)\qquad V_x = \sqrt{E_1^2\left(\frac{\operatorname{ch} 2\alpha'\frac{x}{l} + \cos 2\beta'\frac{x}{l}}{2}\right) + Z^2 I_1^2\left(\frac{\operatorname{ch} 2\alpha'\frac{x}{l} - \cos 2\beta'\frac{x}{l}}{2}\right) + ZE_1 I_1\left[\operatorname{sh} 2\alpha'\frac{x}{l}\cos(\delta+\varphi_1) + \sin 2\beta'\frac{x}{l}\sin(\delta+\varphi_1)\right]},$$

$$(10)\qquad \tan\xi = \frac{\operatorname{th}\alpha'\frac{x}{l}\tan\beta'\frac{x}{l} + \frac{ZI_1}{E_1}\left[\tan\beta'\frac{x}{l}\cos(\delta+\varphi_1) - \operatorname{th}\alpha'\frac{x}{l}\sin(\delta+\varphi_1)\right]}{1 + \frac{ZI_1}{E_1}\left[\operatorname{th}\alpha'\frac{x}{l}\cos(\delta+\varphi_1) + \tan\beta'\frac{x}{l}\sin(\delta+\varphi_1)\right]},$$

$$(11)\qquad ZI_x = \sqrt{E_1^2\left(\frac{\operatorname{ch} 2\alpha'\frac{x}{l} - \cos 2\beta'\frac{x}{l}}{2}\right) + Z^2 I_1^2\left(\frac{\operatorname{ch} 2\alpha'\frac{x}{l} + \cos 2\beta'\frac{x}{l}}{2}\right) + ZE_1 I_1\left[\operatorname{sh} 2\alpha'\frac{x}{l}\cos(\delta+\varphi_1) - \sin 2\beta'\frac{x}{l}\sin(\delta+\varphi_1)\right]}$$

$$(12)\qquad \tan(\xi-\varphi) = \frac{\operatorname{th}\alpha'\frac{x}{l}\sin\delta + \tan\beta'\frac{x}{l}\cos\delta - \frac{ZI_1}{E_1}\left[\sin\varphi_1 - \operatorname{th}\alpha'\frac{x}{l}\tan\beta'\frac{x}{l}\cos\varphi_1\right]}{\operatorname{th}\alpha'\frac{x}{l}\cos\delta - \tan\beta'\frac{x}{l}\sin\delta + \frac{ZI_1}{E_1}\left[\cos\varphi_1 + \operatorname{th}\alpha'\frac{x}{l}\tan\beta'\frac{x}{l}\sin\varphi_1\right]}.$$

Si l'on désire rechercher l'influence de la longueur d'un type donné de ligne, on posera

$$(13)\qquad \begin{cases} \alpha' = \alpha l, \\ \beta' = \beta l. \end{cases}$$

On retombera ainsi sur les paramètres α et β de M. P. Janet, qui se déterminent comme α' et β' mais au moyen des données de la ligne par unité de longueur au lieu des données de la ligne totale.

Pour obtenir, par exemple, la chute de tension totale qui est un élément important, on pourra employer l'équation (9) sous la forme.

$$(14)\qquad V_l = \sqrt{E_1^2\left(\frac{\operatorname{ch} 2\alpha l + \cos 2\beta l}{2}\right) + Z^2 I_1^2\left(\frac{\operatorname{ch} 2\alpha l - \cos 2\beta l}{2}\right) + ZE_1 I_1\left[\operatorname{sh} 2\alpha l\cos(\delta+\varphi_1) + \sin 2\beta l\sin(\delta+\varphi_1)\right]}.$$

Cette formule fait bien ressortir combien la variation de la chute de tension avec la longueur devient complexe dès que αl et βl prennent une valeur notable jusqu'au moment toutefois où αl devient assez grand pour que les sinus et cosinus deviennent négligeables devant $e^{2\alpha l}$, moment à partir duquel on a simplement

$$(15)\qquad V_l = \frac{e^{\alpha l}}{2}\sqrt{E_1^2 + Z^2 I_1^2 + 2ZE_1 I_1\cos(\delta+\varphi_1)}.$$

IV. L'interprétation de la formule (9) mérite d'être rappelée.

Il résulte de cette formule que la tension en un point quelconque de la ligne est la résultante de deux vecteurs un vecteur de tension

$$V_l = E_1\sqrt{\frac{\operatorname{ch} 2\alpha'\frac{x}{l} + \cos\beta'\frac{x}{l}}{2}}$$

Digitized by Google

et un vecteur d'intensité

$$V_i = ZI_1 \sqrt{\frac{\operatorname{ch} 2\alpha' \frac{x}{l} - \cos 2\beta' \frac{x}{l}}{2}},$$

faisant entre eux un angle défini par l'équation

$$\cos\left(\widehat{V_1 V_i}\right) = \frac{\operatorname{sh} 2\alpha' \frac{x}{l} \cos(\delta + \varphi_1) + \sin 2\beta' \frac{x}{l} \sin(\delta + \varphi_1)}{\sqrt{\operatorname{ch}^2 2\alpha' \frac{x}{l} - \cos^2 2\beta' \frac{x}{l}}},$$

D'où résulte

$$\widehat{V_1 V_i} = -\delta - \varphi_1 + \operatorname{arc\,tang} \frac{\sin 2\beta' \frac{x}{l}}{\operatorname{sh} 2\alpha' \frac{x}{l}}.$$

Lorsque α et β sont petits devant l'unité, et en tous les cas dans la section de la ligne voisine de l'arrivée, on a sensiblement

$$V_i = E_1 \sqrt{1 + (GR - \omega^2 CL) \frac{x^2}{l^2}},$$

$$V_i = Z_p I_1 \frac{x}{l},$$

$$\widehat{V_1 V_i} = -\delta - \varphi_1 + \operatorname{arc\,tang} \frac{\beta'}{\alpha'} = \psi - \varphi_2.$$

De même le courant est, au facteur Z près, la résultante de deux vecteurs tout à fait analogues

$$I_i = I_1 \sqrt{\frac{\operatorname{ch} 2\alpha' \frac{x}{l} + \cos 2\beta' \frac{x}{l}}{2}}$$

et

$$I_i = \frac{E_1}{Z} \sqrt{\frac{\operatorname{ch} 2\alpha' \frac{x}{l} - \cos 2\beta' \frac{x}{l}}{2}}$$

faisant entre eux un angle

$$\widehat{I_1 I_i} = -\delta - \varphi_1 - \operatorname{arc\,tang} \frac{\sin 2\beta' \frac{x}{l}}{\operatorname{sh} 2\alpha' \frac{x}{l}}.$$

Ces formules font particulièrement bien ressortir la symétrie du rôle joué par la tension et le courant.

On voit d'ailleurs aisément que les coefficients de E_1 et I_1 dans ces vecteurs sont précisément ceux qui déterminent respectivement les rapports des tensions et courants au point considéré aux tensions et courants à l'arrivée à circuit ouvert et en court-circuit.

Lorsqu'on ne connaît que la puissance apparente à l'arrivée P_a et la tension au départ V_1, on peut partir, pour déterminer E_1, des vecteurs au départ

$$V'_1 = E_1 \sqrt{\frac{\operatorname{ch} 2\alpha' + \cos 2\beta'}{2}},$$

$$V'_i = \frac{ZP_a}{E_1} \sqrt{\frac{\operatorname{ch} 2\alpha' - \cos 2\beta'}{2}}$$

et l'on arrive aisément à déterminer E_1 au moyen des graphiques de la figure suivante.

La valeur V_i est représentée par une circonférence de cercle, de centre O. Portons en OA la valeur V_1 correspondant à une valeur arbitraire de E_1, faisons en A avec le prolongement de OA l'angle

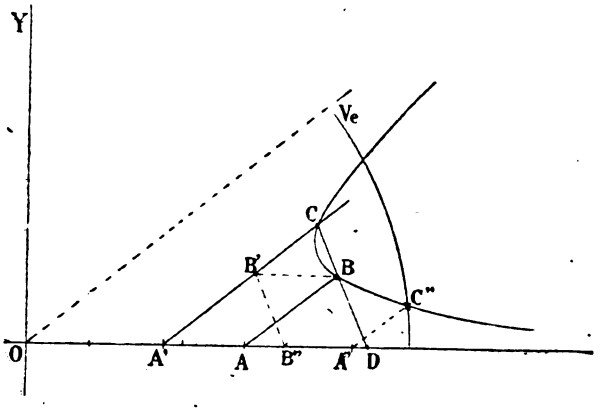


Fig. 1.

$$\left(\widehat{V'_1 V'_i}\right) = -\varphi_0 + \operatorname{arc\,tang} \frac{\sin 2\beta'}{\operatorname{sh} 2\alpha'}$$

qui est indépendant de E_1 et portons en AB la valeur de V_i correspondant à la valeur de E_1. La tension au départ sera représentée par le vecteur OB. Si le point B n'est pas sur la circonférence V_1, on prendra une autre valeur de E_1, d'où résultera une autre valeur OA' de V_1 et une autre valeur A' C de V_i, la droite A'C étant parallèle à AB. D'ailleurs le produit $V_1 V_i$ est indépendant de E_1, de sorte que l'on aura

$$OA \times AB = OA' \times A'C.$$

Menons la droite CB jusqu'à son intersection D avec le prolongement de OA, la parallèle BB' à OD et la parallèle B' B'' à CD. Nous aurons

$$\frac{OA'}{OA} = \frac{A'B'}{A'C} = \frac{A'B''}{A'D} = \frac{AD}{A'D}.$$

D'où

$$\frac{OA'}{OA' + AA'} = \frac{AD}{AA' + AD}$$

Digitized by Google

et par conséquent

$$OA' = AD.$$

D'où la construction simple suivante : on portera sur le prolongement de OA une longueur AD égale à OA' et l'on mènera la droite DB jusqu'à l'intersection avec la parallèle à AB menée par A', qui donnera le point C. On tracera ainsi par points une courbe coupant la circonférence en C'' d'où l'on mènera la parallèle C'' A'' à AB et OA'' donnera la valeur de V_2, d'où l'on déduira E_1.

Il est d'ailleurs visible que le lieu du point C est une hyperbole. Si, en effet, nous appelons x' et y' ses coordonnées par rapport à OD et à un axe perpendiculaire OY, K_1 et K_2 les coefficients de E_1 et de I_1 dans V_2 et V_2', nous aurons

$$x' = K_1 E_1 + K_2 \frac{P_a}{E_1} \cos \widehat{BAD},$$

$$y' = K_2 \frac{P_a}{E_1} \sin \widehat{BAD}.$$

D'où, en éliminant E_1,

$$x'y' = K_1 K_2 P_a \sin \widehat{BAD} + y'^2 \cot \widehat{BAD},$$

équation d'une hyperbole ayant pour asymptote l'axe OA et la parallèle menée par O à AB.

Cette hyperbole coupera en général la circonférence en deux points, donnant deux valeurs de E_1 : le seul point intéressant est celui qui correspondra à la plus grande valeur de E_1, et par conséquent le plus rapproché de OA.

Il arrivera que l'hyperbole ne coupe pas la circonférence V_2. La conclusion à en tirer sera que la puissance apparente P_a à l'arrivée aura été prise supérieure à celle que peut transporter la ligne sous la tension V_1 au départ.

Si enfin l'hyperbole est tangente à la circonférence, la tension E_1 correspondra à la puissance maximum que peut transporter la ligne sous la tension V_1 au départ.

Réciproquement, le rayon du cercle tangent à l'hyperbole donne la valeur de la tension minimum nécessaire au départ pour obtenir la puissance P_a à l'arrivée.

Ces résultats correspondent à des indications données précédemment et sur lesquels nous reviendrons plus loin.

V Nous arrivons aisément à retrouver quelques autres résultats également connus.

On voit facilement que pour les lignes courtes, pour lesquelles α' et β' sont petits devant l'unité, ce qui permet un développement très restreint des signes hyperboliques et trigonométriques, les formules (9) et (11) se ramènent immédiatement aux formules connues des lignes où l'on suppose concentrées en un point la résistance et la self-induction.

Si d'ailleurs G est négligeable devant ωC, ce qui est un cas très fréquent, on a simplement

$$\theta = \frac{\pi}{2},$$

$$\alpha' = \sqrt{\frac{\omega C}{2}(Z - \omega L)},$$

$$\beta' = \sqrt{\frac{\omega C}{2}(Z + \omega L)},$$

Passons aux cas du circuit ouvert et du court-circuit. Ces deux cas se traiteraient directement avec la plus grande facilité en partant des équations de base ; mais il est plus simple encore de partir des formules générales (9) et (11), prises au départ.

A circuit ouvert ou à vide, l'intensité I_1 s'annule et l'on a par conséquent

$$\operatorname{tang} \xi_v = \operatorname{th} \alpha' \operatorname{tang} \beta.$$

$$\operatorname{tang} (\xi_v - \varphi_v) = \frac{-\operatorname{th} \alpha' \operatorname{tang} \delta + \operatorname{tang} \beta'}{\operatorname{th} \alpha' + \operatorname{tang} \beta \operatorname{tang} \delta},$$

$$\operatorname{tang} \varphi_v = \operatorname{tang} \left(\delta - \operatorname{arc\,tang} \frac{\sin 2\beta'}{\operatorname{sh} 2\alpha'} \right),$$

$$V_v = E_1 \sqrt{\frac{\operatorname{ch} 2\alpha' + \cos 2\beta'}{2}},$$

$$ZI_v = E_1 \sqrt{\frac{\operatorname{ch} 2\alpha' - \cos 2\beta'}{2}},$$

$$Z_v = Z \sqrt{\frac{\operatorname{ch} 2\alpha' + \cos 2\beta'}{\operatorname{ch} 2\alpha' - \cos 2\beta'}}.$$

En court-circuit, c'est la tension E_1 qui s'annule, d'où résultent les formules

$$\operatorname{tang} \xi_{cc} = \frac{-\operatorname{th} \alpha' \operatorname{tang} (\delta + \varphi_1) + \operatorname{tang} \beta'}{\operatorname{th} \alpha' + \operatorname{tang} \beta' \operatorname{tang} (\delta + \varphi_1)} = \operatorname{tang} \left(-\delta - \varphi_1 + \operatorname{arc\,tang} \frac{\operatorname{tang} \beta'}{\operatorname{th} \alpha'} \right)$$

$$\operatorname{tang} (\xi_{cc} - \varphi_{cc}) = -\frac{\operatorname{tang} \varphi_1 - \operatorname{th} \alpha' \operatorname{tang} \beta'}{1 + \operatorname{th} \alpha' \operatorname{tang} \beta' \operatorname{tang} \varphi_1} = \operatorname{tang} (\xi_v - \varphi_1),$$

$$V_{cc} = ZI_1 \sqrt{\frac{\operatorname{ch} 2\alpha' - \cos 2\beta'}{2}},$$

$$I_{cc} = I_1 \sqrt{\frac{\operatorname{ch} 2\alpha' + \cos 2\beta'}{2}},$$

$$Z_{cc} = Z \sqrt{\frac{\operatorname{ch} 2\alpha' - \cos 2\beta'}{\operatorname{ch} 2\alpha' + \cos 2\beta'}}.$$

De ces valeurs de l'impédance on déduit immédiatement

$$(16) \qquad \begin{cases} Z_v Z_{cc} = Z^2, \\ \dfrac{Z_v}{Z_{cc}} = \dfrac{\operatorname{ch} 2\alpha' + \cos 2\beta'}{\operatorname{ch} 2\alpha' - \cos 2\beta'}. \end{cases}$$

La première des formules (16), qui est bien connue,

Digitized by Google

permet de déterminer expérimentalement les données caractéristiques de la ligne par la simple mesure des impédances à vide et de court-circuit sous différentes fréquences, si l'on suppose que ces données soient indépendantes de la fréquence.

Si, au contraire, on a des raisons de supposer qu'elles n'en soient pas indépendantes, on peut au moyen de cette formule, en partant des données dont on peut calculer la valeur telles que R et L, et en s'aidant de la seconde formule (16), déterminer expérimentalement la variation de G et de C avec la fréquence.

Il est remarquable que le produit des deux impédances à vide et de court-circuit soit indépendant de la longueur de la ligne.

Lorsqu'il s'agit de lignes courtes, on a sensiblement

$$\frac{Z_v}{Z_{cc}} = \frac{1}{\alpha'^2 + \beta'^2} = \frac{1}{Z_p S}$$

et par conséquent

$$Z_v = \frac{1}{S},$$

$$Z_{cc} = Z_p$$

Si l'on a simplement α' petit devant l'unité, sans que β' le soit, on aura

$$\frac{Z_v}{Z_{cc}} = \cot^2 \beta'.$$

Si au contraire α devient assez grand devant l'unité pour que $e^{-2\alpha x}$ soit négligeable, le rapport $\frac{Z_v}{Z_{cc}}$ tendra vers l'unité, les deux impédances se rapprocheront l'une de l'autre en tendant vers la valeur commune

$$Z_v = Z_{cc} = Z,$$

qu'on appelle généralement l'*impédance naturelle de la ligne*.

Dans le cas où G est négligeable devant ωC et R négligeable devant ωL, la limite commune des deux impédances devient simplement

$$\sqrt{\frac{L}{C}},$$

valeur indépendante de la longueur de la ligne, qui s'approche de 600 ohms, pour les lignes aériennes en métal non ferromagnétique et non pupinisées.

VI. La formule (14) nous donne enfin la chute de tension le long de la ligne, qui est égale à

$$V_l - E_1,$$

élément de première importance dans le calcul des lignes de transmission d'énergie.

Si l'on considérait une ligne téléphonique, on pourrait avoir à chercher la tension V_l à maintenir au départ de la ligne pour obtenir à l'arrivée dans les récepteurs le courant minimum I_1 nécessaire à l'audition correcte. Il faudrait en outre se préoccuper des questions de déphasage et en particulier des variations des divers déphasages avec la fréquence.

Mais revenons aux transports d'énergie industrielle. Nous avons rappelé au paragraphe II que la puissance que peut transporter une ligne donnée est limitée. Il est aisé de s'en rendre compte par un raisonnement très simple : quand l'intensité I_1 est nulle, l'énergie apparente P_a à l'arrivée est nulle ; si l'on fait croître I_1, l'énergie prend une certaine valeur, mais E_1 varie en sens inverse, et lorsqu'on arrive au court-circuit, c'est E_1 qui devient nul et l'énergie apparente P_a est de nouveau nulle. L'énergie apparente a donc forcément passé par un maximum pour une valeur intermédiaire de E_1.

Il est aisé d'avoir une valeur approchée de la valeur de ce maximum, lorsqu'on part d'une tension déterminée V_l au départ (la tension maximum réalisable, dans le cas des grands transports) en négligeant le courant de charge et les fuites. On a, en effet, dans cette hypothèse,

$$E_1 \cos \omega t = V_l \cos(\omega t + \xi_l) - RI_1 \cos(\omega t - \varphi_1) + \omega L I_1 \sin(\omega t - \varphi_1),$$

$$E_1 \cos \omega t = V_l \cos(\omega t + \xi_l) - Z_p I_1 \cos(\omega t + \psi - \varphi_1).$$

Il en résulte

$$V_l \sin \xi_l = Z_p I_0 \sin(\psi - \varphi_0),$$

$$V_l \cos \xi_l - Z_p I_0 \cos(\psi - \varphi_0) = E_1,$$

D'où l'on déduit immédiatement

$$P_a = E_1 I_1 = I_1 \sqrt{V_l^2 - Z_p^2 I_1^2 \sin(\psi - \varphi_1)} - Z_p I_1^2 \cos(\psi - \varphi_1).$$

Le maximum de P_a s'obtiendra en annulant sa dérivée par rapport à I_1, ce qui donne

$$\sqrt{V_l^2 - Z_p^2 I_1^2 \sin^2(\psi - \varphi_1)} - \frac{Z_p^2 I_1^2 \sin^2(\psi - \varphi_1)}{\sqrt{V_l^2 - Z_p^2 I_1^2 \sin^2(\psi - \varphi_1)}} = 2 Z_p I_1 \cos(\psi - \varphi_1)$$

et par conséquent

$$V_l^2 - 4 Z_p^2 I_1^2 V_l^2 + 4 Z_p^4 I_1^4 \sin^2(\psi - \varphi_0) = 0,$$

D'où les deux solutions

$$2 Z_p I_1 = \frac{V_l}{\sin\left(\frac{\psi - \varphi_1}{2}\right)},$$

$$2 Z_p I_1 = \frac{V_l}{\cos\left(\frac{\psi - \varphi_1}{2}\right)}, \qquad (17)$$

La première solution est évidemment étrangère et par conséquent à rejeter, car elle fait croître indéfini-

Digitized by Google

ment I_1 lorsque φ_1 tend vers ψ, ce qui est un cas irréalisable en pratique. La seule solution à retenir est par conséquent la seconde. Elle donne pour la puissance maximum à l'arrivée la valeur

$$(18)\quad P_a = \frac{V_l^2}{4 Z_p \cos^2\left(\frac{\psi-\varphi_1}{2}\right)} = \frac{V_l^2}{2\,(Z_p + R\cos\varphi_1 + \omega L \sin\varphi_1)}.$$

On peut aller encore plus loin dans la voie de l'approximation et tenir compte dans une certaine mesure du courant de charge en le supposant concentré en un point. Tantôt on suppose la capacité de la ligne concentrée à l'origine, tantôt on la place au milieu de la ligne. Pour le but spécial que nous visons, il paraît préférable de la supposer placée à l'arrivée ; nous aurons ainsi une valeur de la puissance transportable approchée par excès, alors que la formule (18) la donne approchée par défaut. Dans cette hypothèse

$$E_1 \cos\omega t = V_l \cos(\omega t + \xi_l) - Z_p I_l \cos(\omega t + \psi + \xi_l - \varphi_l),$$
$$I_e \cos(\omega t + \xi_l - \varphi_l) = -\omega C E_1 \sin\omega t + I_1 \cos(\omega t - \varphi_0),$$

d'où résulte

$$E_1 \cos\omega t = V_l \cos(\omega t + \xi_l) - Z_p I_1 \cos(\omega t + \psi - \varphi_1) + \omega C Z_p E_1 \sin(\omega t + \psi).$$

Si nous posons, pour simplifier l'écriture,

$$E' \cos\gamma = E_1 (1 - \omega C Z_p \sin\psi) = E_1 (1 - \omega^2 CL),$$
$$E' \sin\gamma = \omega C Z_p E_1 \cos\psi = E_1 \omega CR,$$

cette équation deviendra

$$E' \cos(\omega t + \gamma) = V_l \cos(\omega t + \xi_l) - Z_p I_1 \cos(\omega t + \psi - \varphi_1),$$

ce qui nous ramène au cas précédent, dans lequel E_1 serait remplacé par E', ξ_l par $\xi_l - \gamma$ et $\psi - \varphi_1$ par $\psi - \gamma - \varphi_1$. D'ailleurs

$$E' = E_1 \sqrt{1 - 2\omega C Z_p \sin\psi + \omega^2 C^2 Z_p^2},$$

de sorte que le produit $I_1 E_1$ sera maximum pour la même valeur de I_1 que le produit $I_1 E'$, valeur qui sera, par conséquent,

$$(19)\quad I_1 = \frac{V_l}{2 Z_p \cos\left(\frac{\psi-\gamma-\varphi_1}{2}\right)}.$$

La valeur correspondante de E' sera

$$E' = \frac{2}{2\cos\left(\frac{\psi-\gamma-\varphi_1}{2}\right)},$$

et la puissance apparente à l'arrivée

$$P_a = \frac{V_l^2}{4 Z_p \sqrt{1 - 2\omega C Z_p \sin\psi + \omega^2 C^2 Z_p^2 \cos^2\left(\frac{\psi-\gamma-\varphi_1}{2}\right)}}$$

ce qui peut s'écrire

$$(20)\quad P_a = \frac{V_l^2}{2 Z_p \left[\cos(\psi - \varphi_1) - \omega C Z_p \sin\varphi_1 + \sqrt{1 - 2\omega C Z_p \sin\psi + \omega^2 C^2 Z_p^2}\right]}.$$

VII. Faisons quelques applications numériques de ces formules.

Premier cas.

$$Z_p = 108,$$
$$V_l = 70\,000,$$
$$\omega C = 0{,}0008, \quad \sin\psi = 0{,}871,$$
$$\psi - \varphi_1 = 12{,}5\ \text{g}, \quad \sin\varphi_1 = 0{,}6,$$
$$\gamma = 3{,}9\ \text{g}.$$

La formule (17) donne dès lors

$$I_1 = 326\ \text{amp.}$$

alors que la formule (19) donne

$$I_1 = 325\ \text{amp.}$$

La formule (18) donne, en mégavoltampères,

$$P_a = 11{,}4,$$

alors que la formule (20) donne

$$P_a = 12{,}2,$$

de sorte que la puissance maximum à l'arrivée sera comprise entre

$$3 \times 11\,400 \times 0{,}8 = 27\,400\ \text{kw}$$

et

$$3 \times 12\,200 \times 0{,}8 = 29\,300\ \text{kw}.$$

Deuxième cas. — Les seules données changées sont

$$Z_p = 87{,}7,$$
$$\psi = 73{,}1\ \text{g},$$
$$\psi - \varphi_1 = 32{,}1\ \text{g},$$
$$\gamma = 1{,}95\ \text{g}.$$

Les formules (17) et (19) donnent respectivement les résultats

$$I_1 = 413\ \text{amp.} \quad \text{et} \quad 411\ \text{amp.}$$

La formule (18) donne

$$P_a = 14{,}9$$

et la formule (20)

$$P_a = 15{,}6,$$

Digitized by Google

de sorte que la puissance maximum à l'arrivée sera comprise entre

$$3 \times 14\,900 \times 0{,}8 = 35\,800 \text{ kw}$$

et

$$3 \times 15\,600 \times 0{,}8 = 37\,500 \text{ kw}.$$

Troisième cas. — Les seules données changées sont

$$\begin{aligned} Z_p &= 164, \\ \psi &= 85{,}9 \text{ g}, \\ \psi - \varphi_1 &= 44{,}9 \text{ g}, \\ \varphi_1 &= 4{,}9 \text{ g}. \end{aligned}$$

Les formules (17) et (19) donnent respectivement les résultats

$$I_1 = 233 \text{ amp.} \quad \text{et} \quad 229 \text{ amp.}$$

De la formule (18) on déduit

$$P_a = 8{,}48$$

et de la formule (20)

$$P_a = 11,$$

de sorte que la puissance maximum à l'arrivée sera comprise entre

$$3 \times 8\,480 \times 0{,}8 = 20\,200 \text{ kw}$$

et

$$3 \times 11\,000 \times 0{,}8 = 26\,400 \text{ kw}.$$

Nous reviendrons tout à l'heure sur ce que représentent ces trois cas, en comparant les résultats approximatifs ainsi obtenus à ceux que donnent les formules complètes, et que nous allons calculer maintenant.

VIII. Envisageons le cas d'une ligne triphasée très longue (500 km) en câbles d'aluminium de 250 mm², alimentée à la fréquence 25 p : sec sous une tension au départ de 120 000 v entre phases, et cherchons quelle puissance maximum cette ligne peut amener sous un déphasage de cosinus égal à 0,8 à l'arrivée.

Considérons une des phases vis à vis d'un neutre fictif; nous aurons approximativement, G étant négligeable en pareil cas :

$$\begin{aligned} V_c &= 70\,000, \\ R &= 72, \\ \omega L &= 80, \\ Z_p &= 108, \\ S &= \omega C = 0{,}0008, \\ Z &= 367{,}4, \\ \alpha'^2 &= 112.10^{-4}, \quad \alpha l = \alpha' = 0{,}106, \\ \beta'^2 &= 752.10^{-4}, \quad \beta l = \beta' = 0{,}274 = 17{,}4 \text{ g}, \\ \operatorname{ch} 2\alpha' &= 1{,}023, \\ \operatorname{sh} 2\alpha' &= 0{,}214, \\ \operatorname{th} \alpha' &= 0{,}106, \\ \cos 2\beta' &= 0{,}854, \\ \sin 2\beta' &= 0{,}520, \\ \operatorname{tang} \beta' &= 0{,}280, \\ \operatorname{tang} \psi &= \frac{80}{72} = 1{,}111, \qquad \psi = 53{,}3 \text{ g}, \\ \theta &= 100 \text{ grades}, \\ \cos \varphi_1 &= 0{,}8, \qquad \varphi_1 = 41 \text{ grades}, \\ \cos(\delta + \varphi_1) &= 0{,}531 \qquad \delta + \varphi_1 = 64{,}35 \text{ g}, \\ \sin(\delta + \varphi_1) &= 0{,}847. \end{aligned}$$

Nous aurons dès lors, en nous rappelant que

$$P_a = E_1 I_1$$

et en appliquant la formule (14),

$$70\,000\, E_1 = \sqrt{0{,}938\, E_1^4 + 135\,000 \times 0{,}084\, P_a^2 + 367{,}4\, P_a E_1^2 (0{,}114 + 0{,}440)}.$$

Pour ne pas traîner de nombres trop encombrants, exprimons les tensions en kilovolts et P_a en mégavoltampères; il viendra

$$70\, E_1 = \sqrt{0{,}938\, E_1^4 + 203{,}5\, P_a E_1^2 + 11\,340\, P_a^2}$$

et, par conséquent,

$$E_1^2 = \frac{4900 - 203{,}5 P_a \pm \sqrt{(4900 - 203{,}5 P_a)^2 - 42\,548 P_a^2}}{1{,}876}$$

Pour que les racines soient réelles, il faut que

$$(4900 - 203{,}5\, P_a)^2 \geq 42\,548\, P_a^2,$$

ce qui exige que

$$P_a \leq 11{,}95.$$

La puissance maximum que peut amener cette ligne sera donc égale à

$$3 \times 11\,950 \times 0{,}8 = 28\,700 \text{ kw},$$

ce qui est un peu restreint pour un transport de cette longueur.

Pour augmenter le plus possible la puissance amenée, il n'y a qu'une ressource, c'est de réduire la résistance. Mais on est arrêté très rapidement dans cette voie par les difficultés qu'on rencontre à tendre en ligne aérienne des câbles de forte section. A notre connaissance, les plus gros câbles employés à cet effet sont les câbles en aluminium à âme d'acier de 300 mm² employés par la Pacific Light and Power C° en Californie, pour un transport à 450 km. Allons plus loin et supposons la portée à 500 mm², ce qui dépasse notablement les plus

Digitized by Google

grandes sections usuelles. Calculons ce qu'elle donnerait, en négligeant, pour dépasser le maximum possible, le fait que l'âme en acier augmenterait sensiblement la résistance moyenne. On peut admettre que la self-inductance et la capacité ne sont pas sensiblement modifiées et que la résistance est réduite à moitié par rapport au cas précédent.

Nous aurions donc

$$R = 36,$$
$$Z_p = 87,7,$$
$$Z = 331,$$
$$\alpha'^2 = 31.10^{-4}, \qquad \alpha l = \alpha' = 0,0557,$$
$$\beta'^2 = 671.10^{-4}, \qquad \beta l = \beta' = 0,259 = 16,5\ g,$$
$$\operatorname{ch} 2\alpha' = 1,006,$$
$$\operatorname{sh} 2\alpha' = 0,212,$$
$$\operatorname{th} \alpha' = 0,0557,$$
$$\cos 2\beta' = 0,869,$$
$$\sin 2\beta' = 0,495,$$
$$\operatorname{tang} \beta' = 0,265,$$
$$\operatorname{tang} \psi = 2,222, \qquad \psi = 73,1\ g,$$
$$\cos(\delta + \varphi_1) = 0,655. \qquad \delta + \varphi_1 = 54,45\ g,$$
$$\sin(\delta + \varphi_1) = 0,755.$$

D'où, en opérant comme précédemment,

$$70\, E_1 = \sqrt{0,937\, E'^2_1 + 148\, P_a E'^2_1 + 7509\, P^2_a}$$

et, par conséquent,

$$E'^2_1 = \frac{2450 - 74\, P_a + \sqrt{(2450 - 74\, P_a)^2 - 7509 \times 0,937\, P^2_a}}{0,937}.$$

La condition de réalité est

$$(2450 - 74\, P_a)^2 - 7037\, P^2_a \geqq 0.$$

D'où

$$P_a \leqq 15,52.$$

La puissance que pourra amener la ligne sera donc égale à

$$3 \times 15\,500 \times 0,8 = 37\,250\ \text{kw}.$$

C'est un gain sensible sur le résultat précédent, mais il est acquis au moyen d'un notable supplément de dépenses.

On a dès lors

$$E'^2_1 = \frac{2450 - 1145,5}{0,937} = 1389.$$

D'où

$$E_1 = 37\,250\ \text{volts},$$

correspondant à une chute de tension de 47 pour 100. Il est à craindre qu'une pareille chute de tension ne soit de nature à rendre l'exploitation bien difficile.

On aura d'autre part

$$I_1 = \frac{15\,500}{37,25} = 416\ \text{amp}.$$

Calculons enfin le déphasage et le rendement du transport. Nous aurons

$$\operatorname{tang} \xi_l = \frac{37\,250 \times 0,0557 \times 0,265 - 416 \times 331\,[0,0557 \times 0,755 - 0,265 \times 0,655]}{37\,250 + 416 \times 331\,[0,0557 \times 0,655 + 0,265 \times 0,755]},$$

$$\operatorname{tang} \xi_l = \frac{0,015 + 3,7 \times 0,1315}{1 + 3,7 \times 0,2306} = \frac{0,5015}{1,8534} = 0,267.$$

$$\xi_l = 16,6\ g.$$

$$\operatorname{tang}(\xi_l - \varphi_l) = \frac{37\,250[0,0557 \times 0,210 + 0,265 \times 0,977] - 416 \times 331[0,6 - 0,0557 \times 0,265 \times 0,8]}{37\,250[0,0557 \times 0,977 - 0,265 \times 0,210] + 416 \times 331[0,8 + 0,0557 \times 0,265 \times 0,6]},$$

$$\operatorname{tang}(\xi_l - \varphi_l) = \frac{0,271 - 3,7 \times 0,588}{-0,0012 + 3,7 \times 0,809} = -\frac{1,904}{2,992} = -0,637,$$

$$\varphi_l - \xi_l = 36,1\ g,$$

$$\varphi_l = 52,7\ g,$$

$$\cos \varphi_l = 0,676;$$

le déphasage au départ diffère donc peu du déphasage à l'arrivée, qui est égal à 41 grades :

$$I_l = 416 \sqrt{\frac{80\,010}{109\,625}\, 0,0685 + 0,937 + \frac{89,5}{331}\,[0,112 \times 0,655 - 0,495 \times 0,755}$$

$$I_l = 416 \sqrt{0,858} = 385\ \text{amp}.$$

Digitized by Google

La puissance au départ sera donc égale à

$$3 \times 70 \times 385 \times 0{,}676 = 54\,650 \text{ kw.}$$

La perte d'énergie en ligne est de 17 400 kw, correspondant à 401 amp efficaces moyens et le rendement du transport a pour valeur

$$\frac{37\,250}{54\,650} = 69 \text{ pour } 100,$$

ce qui est faible. On aurait en général intérêt à dédoubler la ligne, malgré les frais d'installation plus élevés qui en résulteraient. On serait obligé de le faire si l'on voulait amener plus de 37 000 kw au réseau d'utilisation; encore faudrait-il tenir compte, pour avoir la puissance réellement utilisable, de la transformation nécessaire à l'arrivée.

IX. Bien qu'il ne puisse être question, en présence de ces résultats, de réaliser un pareil transport à la fréquence 50, cherchons néanmoins la puissance transportable et la chute de tension correspondante sous cette fréquence afin de nous rendre compte de l'influence de la fréquence.

Nous aurons dès lors

$$R = 36,$$
$$\omega L = 160,$$
$$Z_p = 164,$$
$$S = \omega C = 0{,}0016,$$
$$Z = 320,$$
$$\alpha'^2 = 0{,}062, \qquad \alpha l = \alpha' = 0{,}04472,$$
$$\beta'^2 = 0{,}258, \qquad \beta l = \beta' = 0{,}508 = 32{,}7\,g.$$
$$\operatorname{ch} 2\alpha' = 1{,}004,$$
$$\operatorname{sh} 2\alpha' = 0{,}0898,$$
$$\operatorname{th} \alpha' = 0{,}0448,$$
$$\cos 2\beta' = 0{,}517,$$
$$\sin 2\beta' = 0{,}856,$$
$$\operatorname{tang} \beta' = 0{,}564,$$
$$\operatorname{tang} \psi = 4{,}444, \qquad \psi = 85{,}9\,g,$$
$$\cos(\delta + \varphi_1) = 0{,}0728 \qquad \varphi_1 = 41\,g,$$
$$\sin(\delta + \varphi_1) = 0{,}685.$$

De ces données on déduit, dans les mêmes conditions que précédemment,

$$70\,E_1 = \sqrt{0{,}760\,E'^2_1 + 24\,959\,P^2_a + 208{,}5\,P_a E'^2_1}$$

et, par conséquent,

$$E'^2_1 = \frac{4\,900 - 208{,}5\,P_a \pm \sqrt{(4\,900 - 208{,}5\,P_a)^2 - 3{,}04 \times 24\,959\,P_a^2}}{1{,}52}.$$

La condition de réalité des racines s'écrit

$$4\,900 - 208{,}5\,P_a \geq 275{,}6\,P_a,$$

d'où résulte que la valeur maximum de P_a a la valeur

$$P_a = \frac{4\,900}{484{,}1} = 10{,}12$$

et que, par conséquent, le maximum de puissance à l'arrivée est

$$3 \times 10\,120 \times 0{,}8 = 24\,300 \text{ kw.}$$

Pour cette puissance on aura

$$E'^2_1 = \frac{4\,900 - 2\,110}{1{,}52} = 1\,835$$

et, par conséquent,

$$E_1 = 42\,850 \text{ volts,}$$

ce qui donne une chute de tension de 39 pour 100.

Enfin l'intensité du courant à l'arrivée sera

$$I_1 = \frac{10\,120}{42{,}85} = 236 \text{ amp.}$$

On voit quelle considérable réduction de puissance utilisable à l'arrivée entraîne le doublement de la fréquence.

Dans cet exemple, comme dans les précédents, nous avons laissé de côté l'augmentation de résistance due à l'effet Kelvin, en raison de son peu d'importance.

X. Il est intéressant de comparer les résultats donnés par les formules complètes à ceux que nous avons obtenus au paragraphe VII par les formules simplifiées. Cette comparaison fait l'objet du tableau suivant :

Formules.	Courant I_1 en ampères	Puissance utilisable en kilowatts	Tension E_1 en volts	Chute de tension en centièmes.
		Premier cas :		
(17) et (18)....	326	27 400	35 000	50
(19) et (20)....	325	29 300	37 500	47
complètes.....	330	28 700	36 200	48
		Deuxième cas :		
(17) et (18)....	413	35 800	36 100	48
(19) et (20)....	411	37 500	37 960	46
complètes.....	416	37 250	37 250	47
		Troisième cas :		
(17) et (18)....	233	20 200	36 400	48
(19) et (20)....	229	26 400	48 000	33
complètes.....	236	24 300	42 850	39

On voit que les formules approximatives donnent, même pour de longues lignes de transport, et surtout

Digitized by Google

pour la fréquence 25 qu'il ne paraît guère possible de dépasser en pareil cas, des résultats très suffisamment approchés pour les besoins de la pratique, la solution exacte étant intermédiaire, sauf pour le courant, entre celles que donnent les deux groupes de formules approximatives. Ce résultat est intéressant pour les avant-projets.

Deux des points les plus caractéristiques des longues lignes de transport sont la limitation assez étroite de la puissance transportable par une seule ligne et la chute de tension importante qu'entraîne le transport de cette puissance maximum.

Ces deux points ne font pas obstacle au transport d'une puissance beaucoup plus grande que celle que peut transporter une seule ligne ; ils entraînent seulement la multiplication des lignes et l'emploi à l'arrivée de dispositifs spéciaux tels que, par exemple, des convertisseurs synchrones surexcités pour réduire le déphasage, fréquemment excessif, du réseau d'utilisation. Il en résulte une augmentation à la fois des dépenses d'installation et des dépenses d'exploitation dont il est indispensable de tenir compte dans l'établissement des projets.

Il n'était peut-être pas inutile de rappeler l'attention sur ces points au moment où la pénurie de combustible et la nécessité de rétablir le plus rapidement possible l'activité économique dans les régions dévastées par l'ennemi amènent à étudier d'importants réseaux de transport d'énergie électrique.

E. Brylinski,
Directeur du « Triphasé ».

Schémas et description sommaire des appareils utilisant l'émission d'électrons provenant d'un filament chaud

Il a été créé depuis quelque temps une série d'appareils basés sur des phénomènes électroniques auxquels on a donné suivant leurs fonctions des noms nouveaux. Il nous a paru intéressant de résumer, sous forme de notes, avec en regard le schéma correspondant, les différents types d'appareils de ce genre actuellement en service.

1° **Kenotron** : de Κενός, espace vide et τρον appareil. — Cet appareil comprend deux électrodes placées dans un vide aussi parfait que possible. La cathode F est un filament de tungstène porté à l'incandescence par un courant auxiliaire ; l'anode P est une plaque de forme quelconque. Cet appareil laisse passer, dans le sens indiqué, des courants de plusieurs centaines de milliampères avec une chute de tension de l'ordre de 200 à 500 v. Si l'on inverse la polarité des électrodes, il ne passe plus aucun courant et l'appareil peut supporter des tensions pouvant dépasser 100000 v. Le kénotron est donc un *redresseur de courants alternatifs de haute tension.*

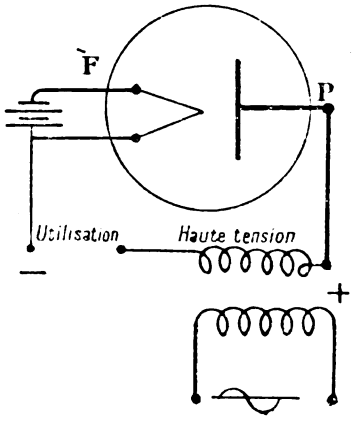


Fig. 1. — Kénotron.

2° **Tungar** : nom formé par les deux premières syllabes de tungstène et argon. — Même principe que pour le kénotron ; mais au lieu d'un vide extrême, l'appareil contient de l'*argon* aussi pur que possible, à une pression encore très notable et variable suivant les cas. Ces appareils ne peuvent guère être utilisés pour des différences de potentiel de plus d'une centaine de volts, mais ils permettent de *redresser des courants très intenses.* On a pu atteindre, par exemple, dans un appareil une

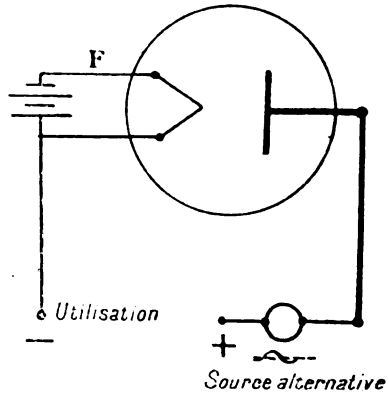


Fig. 2. — Redresseur Tungar.

Digitized by Google

intensité de 80 A, la chute de potentiel étant de quelques volts seulement.

3° **Pliotron** : de Πλείων, plus grand et τρον appareil. — Supposons que l'on introduise dans un kénotron une troisième électrode G, ayant par exemple la forme d'une grille placée entre le filament et la plaque : suivant la valeur du potentiel de cette grille, celle-ci favorisera ou entravera, l'émission des électrons et, par suite, le passage du courant. En pratique, de très faibles

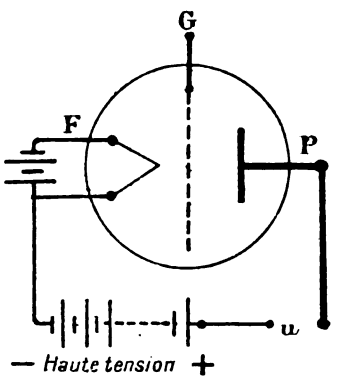


Fig. 3. — Pliotron.

variations du potentiel de grille entraînent des variations considérables du courant redressé transmis dans le circuit filament-plaque. Ces appareils, nommés « pliotrons », servent de *relais amplificateurs*, de détecteurs et surtout *d'émetteurs* en télégraphie sans fil et en radiotéléphonie. Ils peuvent supporter de très grandes puissances.

4° **Audions** : de Αὐδή, le son. — Ces appareils, dus à de Forest, sont des sortes de pliotrons où le vide est beaucoup moins parfait ; ils sont, d'ailleurs, les premiers en date. Ils ont un pouvoir amplificateur plus élevé que les pliotrons par suite de l'intervention des ions positifs

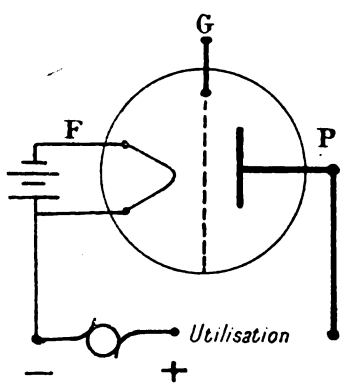


Fig. 4. — Audion.

qui se forment dans le gaz. Mais le bombardement par ces ions pouvant détruire très vite le filament, ils ne supportent que des différences de potentiel faibles (de l'ordre d'une centaine de volts) et, par conséquent, des puissances faibles. Ils sont très utilisés comme *détecteurs* en télégraphie sans fil et comme *relais* sur les lignes téléphoniques à grande distance.

5° **Dynatron** : de δύναμις, force. — C'est une sorte de pliotron où l'on prend la grille pour anode. Une partie des électrons émis par le filament pourra traverser cette anode, frapper la plaque P et y provoquer

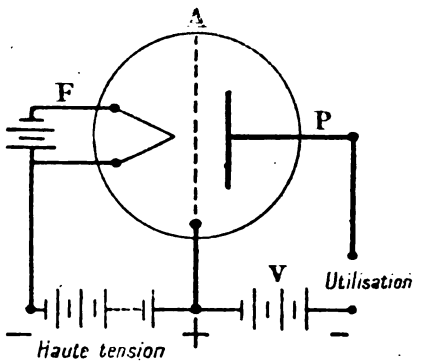


Fig. 5. — Dynatron.

une émission secondaire d'électrons allant en sens inverse des premiers, de P en A, et d'autant plus nombreux que la différence de potentiel V entre anode et plaque est plus grande. De la sorte, à mesure que V augmente, le courant entre anode et plaque ira en décroissant et pourra même changer de sens. L'appareil se comporte donc comme une *résistance négative*, c'est-à-dire comme un amplificateur de potentiel pour un circuit en série avec lui, ou un amplificateur d'intensité pour un circuit en parallèle. Les dynatrons sont très

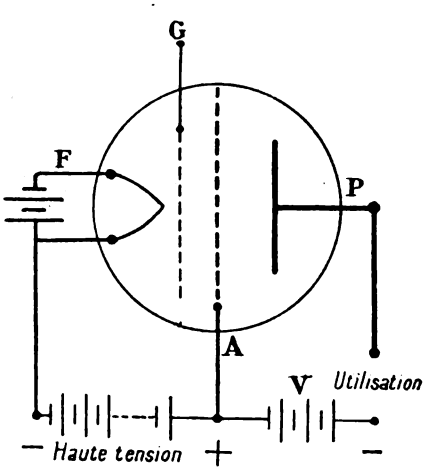


Fig. 6. — Pliodynatron.

utiles comme *détecteurs* : la résistance du circuit pouvant être rendue très faible, l'amortissement des oscilla-

Digitized by Google

tons est très réduit, ce qui est précieux au point de vue de la *sélection*.

6° **Pliodynatron**. — C'est une combinaison d'un dynatron avec un pliotron dans la même ampoule : on introduit, près du filament F, une grille G ou simplement un deuxième filament tendu parallèlement au premier. Cette « grille », agissant sur l'émission des électrons par F, permet de régler dans un large domaine la résistance négative A P, les variations de potentiel de la grille étant très faibles. L'appareil est donc un *amplificateur puissant*. Avec deux pliodynatrons en série, on a obtenu une amplification de 10000. Ces appareils peuvent servir notamment de *transmetteurs* en radiotéléphonie, le microphone faisant osciller le potentiel de la grille.

On peut arriver au même résultat en faisant agir un *champ magnétique extérieur* sur un dynatron : les oscillations d'intensité de ce champ provoquent des oscillations considérables du courant en A P.

Revues, analyses et informations

Méthode d'enregistrement graphique au moyen d'un jet gazeux (1).

Dans l'enregistrement d'un phénomène par déplacement d'un style sur une bande de papier enfumé, le frottement du style sur le papier a l'inconvénient d'altérer l'exactitude de la courbe.

Pour éviter cette imperfection, M. L. Lumière a étudié l'emploi d'un jet de gaz réagissant chimiquement sur un papier convenablement préparé.

Le style habituellement employé est alors remplacé par un tube de très petit diamètre qui est en aluminium ou mieux constitué par une tige creuse d'origine végétale (paille ou chaume de poa) verni ou collodionné extérieurement. Cet organe est terminé par un ajutage très fin recourbé ainsi que le montrent les figures 1 et 2 et ne touchant pas le papier destiné à recevoir l'inscription.

Le tube traceur, quelle que soit sa nature, est relié à une soufflerie par l'intermédiaire d'un petit tuyau de caoutchouc qui le chausse au niveau de l'axe d'oscillation. Enfin on interpose sur le trajet de l'air d'alimentation un barboteur destiné à charger celui-ci de la vapeur ou du gaz actif.

La pression nécessaire étant extrêmement faible (quelques millimètres de hauteur d'eau), la réaction dynamique du jet gazeux à la sortie du tube peut être considérée comme négligeable. L'ajutage terminal sera avantageusement situé dans un plan perpendiculaire à l'axe du tube et incliné à 30° environ de la surface du papier, l'extrémité du bec de l'ajutage étant approchée le plus possible de cette surface, mais sans qu'il y ait contact.

La figure 1 montre l'application du dispositif à un tambour de Marey. Le tube oscillant est réuni au support fixe par un petit manchon de caoutchouc mince servant d'articulation.

La figure 2 est relative à l'inscription des oscillations d'un cadre galvanométrique. Celui-ci porte, fixé à sa partie inférieure, un tube d'aluminium ou de verre coudé, sur lequel est monté l'organe inscripteur et le fil de tension inférieur est remplacé par un tuyau de caoutchouc de section aussi petite que possible, servant à la fois à amener le gaz au tube traceur et à tendre le fil de suspension en utilisant l'élasticité du caoutchouc.

La figure 3 représente un dispositif à cloche minuscule et à obturation par un liquide (eau, huile, mercure) supprimant l'influence du tube de caoutchouc de la figure précédente.

Pour réaliser une inscription nette, M. L. Lumière a tout d'abord employé un jet d'air chargé de gaz H^2S, le papier étant imprégné d'un sel métallique convenablement choisi (acétate de plomb par exemple). L'acide sulfhydrique altérant les objets métalliques et étant toxique et mal odorant a été abandonné et M. L. Lumière a adopté le gaz ammoniac réagissant sur de l'acétate mercureux.

Pour préparer le papier on imprègne la surface du papier couché avec une solution à 10 pour 100 de nitrate mercureux contenant l'excès minimum possible d'acide nitrique nécessaire à l'obtention d'une solution limpide. Après dessiccation, on procède à une deuxième imprégnation avec une solution d'acétate de soude au même titre et on laisse finalement sécher.

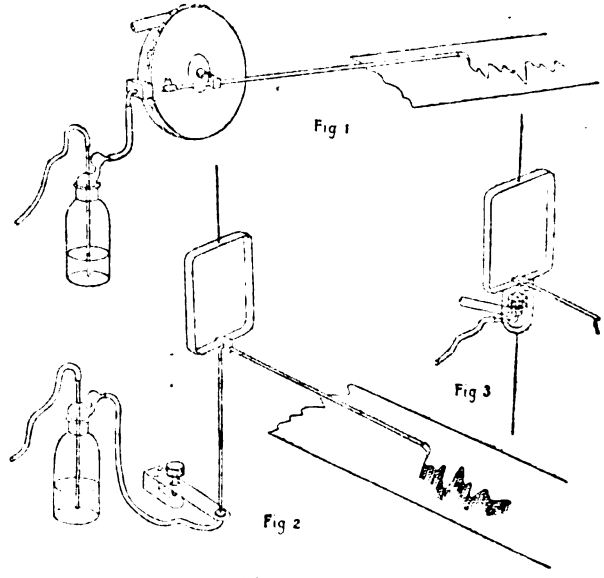


Fig. 1, 2 et 3.

Immédiatement avant l'emploi, on humidifie le papier en le laminant entre deux cylindres dont l'un est recouvert d'un tissu maintenu mouillé.

Suivant la vitesse et la teneur en réactif du jet d'air chargé de gaz ammoniac, on obtiendra soit un tracé filiforme (fig. 1), soit deux plages dont l'une reste blanche et l'autre devient noire (fig. 2), ces deux plages ayant pour limite commune la courbe tracée par les déplacement de l'ajutage.

L'inertie du système étant très faible il semble que cette méthode puisse être utilisée à l'inscription des télégrammes transmis par câbles sous-marins.

(1) L. Lumière. *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, 30 décembre 1918, t. CLXII, p. 1068, 600 mots, 2 figures.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

Le multiple téléphonique interurbain de Strasbourg

Les multiples téléphoniques sont appelés à jouer dans l'avenir un rôle des plus importants, en particulier ceux destinés aux communications interurbaines. C'est un meuble de ce genre que l'auteur décrit dans l'article ci-après en montrant le rôle de ses différents organes et la façon de le manœuvrer.

Avant-propos. — Les méthodes d'exploitation des multiples urbains sont bien connues ; mais les procédés d'exploitation des circuits interurbains ont été beaucoup moins vulgarisés. On peut trouver cependant, à ce sujet, des renseignements très complets et très intéressants, en ce qui concerne la France, dans le cours d'installations téléphoniques de M. Milon, ingénieur des Postes et des Télégraphes, publié dans la bibliothèque des Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones. De la page 243 à la page 268, la question est étudiée en détail.

Cependant les diagrammes ne représentent nullement les combinaisons utilisées à Strasbourg. Comme l'appareil de cette cité doit être désormais exploité par la France, le moment paraît venu d'en faire connaître les caractéristiques. Evidemment, les principes généraux restent les mêmes, c'est l'application seule qui diffère. Quand il s'agit d'avoir une communication téléphonique locale, si l'abonné demandeur doit attendre un peu trop longtemps, avant d'être mis en communication avec son correspondant, c'est que la téléphoniste est momentanément surchargée. Mais, en principe, le délai d'attente doit être court ; pour l'exploitation des circuits interurbains, il n'en est pas de même ; le nombre de circuits disponibles est inférieur aux besoins et l'attente est tellement de règle que des dispositions spéciales sont prises pour que l'abonné demandeur puisse être immédiatement informé du délai probable. J'en conclus que le multiple téléphonique est conçu de façon à pouvoir faire face à toutes les éventualités, sauf le cas d'une insuffisance accidentelle, tandis que le régime des circuits interurbains est beaucoup moins favorisé en général, à cause de la pénurie des circuits, due au prix que coûte leur établissement.

Il en résulte qu'une bonne méthode d'exploitation est d'autant plus nécessaire et c'est ce qui fait l'intérêt de la description que nous allons donner ci-après. Avant d'entrer dans le détail, quelques généralités permettront d'orienter le lecteur. Tout d'abord, à Strasbourg, le multiple urbain et le multiple interurbain sont situés dans des salles séparées, éloignées même l'une de l'autre. Ces deux organismes sont donc reliés par des lignes auxiliaires qui se divisent en deux catégories, les lignes de liaison qui feront partie de la communication interurbaine une fois qu'elle sera réalisée et les lignes de préparation et de conversation qui unissent les opératrices des deux groupes. Enfin, il est indispensable, puisqu'il y a toujours attente, que ce soit l'opératrice du multiple interurbain chargée de la surveillance d'un circuit interurbain, qui ait l'initiative des mises en communication. Si celles-ci sont demandées pour le compte d'un abonné local, cet abonné local aura donc au préalable à faire connaître sa demande et à prendre rang.

Il y aura donc entre le bureau urbain et le bureau interurbain un office intermédiaire, celui des annotatrices, qui sera chargé de prendre note des communications demandées, de transmettre à l'abonné demandeur les renseignements voulus concernant la dite communication et de faire parvenir par tube pneumatique, par boulisterie ou autrement, à la téléphoniste interurbaine, desservant le circuit en cause, la cédule sur laquelle est reportée la demande de communication avec tous les détails nécessaires. L'abonné sera rappelé en temps utile, non plus par sa téléphoniste habituelle, mais par l'opératrice compétente du meuble interurbain. A cet effet, sa ligne est renvoyée à l'interurbain par une ligne auxiliaire partant des conjoncteurs à double rupture. Ceux-ci, placés en tête du meuble urbain, permettent de relier la ligne d'abonné à une ligne auxiliaire, en coupant toute communication avec les divers organes locaux qui pourraient, s'ils restaient reliés à l'un ou l'autre des deux brins de la ligne, produire un déséquilibre par effet de capacité ou par défaut d'isolement et nuire à l'audition. On voit donc que de nombreuses lignes de service ainsi que de nombreuses lignes auxiliaires de liaison sont indispensables, non seulement entre les deux bureaux, urbain et interurbain, mais encore à l'intérieur de l'interurbain lui-même.

C'est de là que vient la complication apparente du diagramme. C'est ainsi que, dans le plan d'une gare de chemin de fer, on trouve à côté des voies principales, voie montante et voie descendante, quantité de lignes de service et d'embranchement auxquelles donnent accès des aiguilles diversement enclenchées. Je signalerai, comme particularité intéressante, que ce n'est pas le circuit interurbain lui-même qui se trouve multiplé sur les divers meubles interurbains, mais qu'à chacun de ces circuits est affectée une ligne ainsi multiplée. Il suffit d'enfoncer la fiche du monocorde qui termine un

Digitized by Google

circuit dans le conjoncteur correspondant de cette ligne multiplée, pour que le circuit interurbain se trouve ainsi renvoyé sur tous les meubles de façon à être représenté sur chacun par un conjoncteur. Je noterai que l'opératrice peut rentrer en écoute, sans mettre en circuit son microphone, afin de surveiller sans trouble une communication engagée et que, pour ne pas affaiblir l'audition, la dérivation comprend alors des bobines de self induction.

Notons encore que certains annonciateurs ont pour but de renseigner une opératrice sur la question de savoir si à l'extrémité de la ligne correspondante une fiche est ou non enfoncée dans le conjoncteur qui la termine, ce qui lui permet de surveiller les manœuvres. Les Américains appellent ces signaux, des signaux de supervisions, car ils permettent, en quelque sorte à l'opératrice de voir, comme par un organe surnaturel, ce qui se passe au loin et hors de sa portée. Nous n'avons pas reproduit ce nom, mais les signaux DK^1 et SRf^1 sont justement des signaux de surveillance qui remplissent ce rôle même.

Le multiple téléphonique urbain de Strasbourg est situé dans une salle distincte de celle des tableaux interurbains. Les deux salles sont reliées l'une à l'autre par des lignes auxiliaires convenablement équipées.

Les tableaux interurbains forment des meubles séparés, placés côte à côte, chacun d'eux desservant quatre circuits interurbains.

Nous empruntons au manuel allemand, pour la préparation aux examens de Noebels, Schluckebier et Jentsch, la description des meubles interurbains.

Construction et agencement. — Le meuble dessert quatre circuits. Chacun d'eux se termine sur une combinaison particulière d'organes propres. A chacun est affecté, pour la liaison avec les autres meubles interurbains, une *ligne de conjoncteurs de circuit*, qui parcourt la série des meubles en s'y multipliant. Les meubles interurbains sont reliés au meuble des annotatrices où l'on reçoit les demandes de communications interurbaines et au panneau des conjoncteurs à double rupture du multiple urbain, panneau sur lequel s'effectuent les liaisons entre les lignes d'abonnés et les lignes interurbaines.

La figure 1 donne une vue de la moitié supérieure du meuble; la figure 2 représente la marche du courant.

En haut du meuble, quatre compteurs de temps : ce sont des cadrans parcourus en trois minutes; en pressant sur un bouton, on arrête les aiguilles dans leur marche et on les ramène au zéro. Au-dessous, quatre annonciateurs pour les quatre circuits Fk; plus bas, le panneau des conjoncteurs divisé en deux parties. Aux conjoncteurs Kd de la rangée supérieure sont rattachées les *lignes de service* de chaque table; aux conjoncteurs Kf de la seconde rangée sont rattachées les *lignes de conjoncteurs de circuit* venant des autres meubles, aux conjoncteurs Ko qui marchent par paires sont reliées les lignes *auxiliaires* de liaison avec le bureau urbain, enfin à la rangée inférieure se trouvent 4 conjoncteurs Ka pour les 4 circuits, les 4 conjoncteurs correspondants Kf des lignes de conjoncteurs de circuit affectées à chacun des 4 circuits et le conjoncteur Kd de la ligne de service propre au meuble lui-même. Au-dessus du panneau des conjoncteurs sont les signaux automatiques de fin de conversation : SG pour les signaux de fin en provenance des circuits, SRf pour les lignes de conjoncteurs de circuit; en outre, le signal d'appel automatique DK sert pour la ligne de service du meuble.

Sur la tablette des clés, il y a pour chaque circuit une fiche FS avec deux boutons d'appel FTa et FTv ainsi qu'un commutateur UH. Au milieu, il y a deux fiches AS et deux clés commutatrices (H et AH) permettant d'intercaler le poste d'opératrice, plus un bouton DT pour la ligne de service avec le bureau urbain (tableau des conjoncteurs à double rupture).

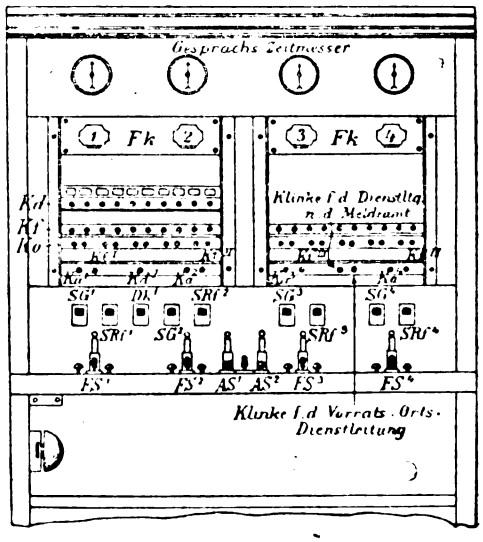


Fig. 1. — Partie supérieure du meuble interurbain.

Un circuit quelconque, par exemple le circuit n° 1, va du répartiteur d'entrée à un meuble interurbain et là, passe par le bouton d'appel bipolaire FTa^1, le commutateur UH^1 et le bouton d'appel bipolaire FTv^1 pour aboutir à une fiche FS^1. Entre FTa^1 et UH^1 vient se brancher une dérivation comprenant le conjoncteur Ka^1 et l'annonciateur FK^1 (électro cuirassé à noyau divisé).

La ligne correspondante des conjoncteurs de circuit pour le circuit n° 1 parcourt la série des meubles, y entre en multiplage, mais n'a de conjoncteurs Kf^1 que de deux en deux meubles; au meuble 1 elle se trouve reliée au conjoncteur Cf^1 et au signal SRf^1.

Un meuble interurbain quelconque possède une *ligne de service de table interurbaine* qui lui sert à préparer les communications; elle est multiplée sur les divers meubles interurbains et a, tous les deux meubles, un conjoncteur Kd. Sur le meuble auquel elle appartient (par exemple, ici, sur le meuble n° 1), elle est reliée à un conjoncteur Kd^1 et à un signal DK^1. Quand le trafic de transit devient très animé, on donne une ligne de service pour chaque circuit.

Digitized by Google

Les lignes *auxiliaires* servent à établir la liaison entre les circuits interurbains et les lignes d'abonnés. Tous les deux meubles, elles aboutissent à un groupe de deux conjoncteurs Ko¹ et Ko¹; leur autre extrémité est un conjoncteur Ko¹ placé sur le panneau des conjoncteurs à double rupture dans le bureau urbain.

Deux *lignes de service, de conversation*, permettent aux opératrices de l'interurbain et du panneau des conjoncteurs à double rupture de s'entendre au sujet des liaisons à effectuer. La première est rattachée à la clé D T de chaque meuble interurbain ; il suffit d'abaisser cette clé pour la relier au poste d'opératrice. La seconde a, à chaque meuble, un conjoncteur Kd où l'on peut introduire une fiche de réponse. Au panneau des conjoncteurs à double rupture, la ligne de conversation peut être mise au moyen d'un commutateur D H, soit sur annonciateur, soit sur poste d'opératrice.

Il y a une *ligne intérieure de conversation* avec les annotatrices. Elle est représentée sur les divers meubles par un conjoncteur ; elle permet les communications avec les annotatrices ; à leur panneau, elle se termine sur annonciateur. Mais pour permettre aux opératrices interurbaines d'être aussi appelées par les annotatrices, on a prévu sur le tableau des annotatrices un conjoncteur pour chaque ligne de service de table interurbaine.

Sur le panneau des annotatrices, il y a un certain nombre de lignes de service auxiliaires qui y arrivent sur annonciateur et conjoncteur et qui sont multiplées sur le multiple urbain. D'ailleurs, inversement, une ligne de service auxiliaire est prévue entre les annotatrices et le multiple urbain, où elle possède un annonciateur local, pour que, en cas de besoin, les annotatrices puissent redemander un poste quelconque et se faire relier avec lui.

Le signal visible d'une ligne de service de table interurbaine, par exemple de la ligne n° 1, est actionné par un fil de signalisation spécial, dès que, sur un autre

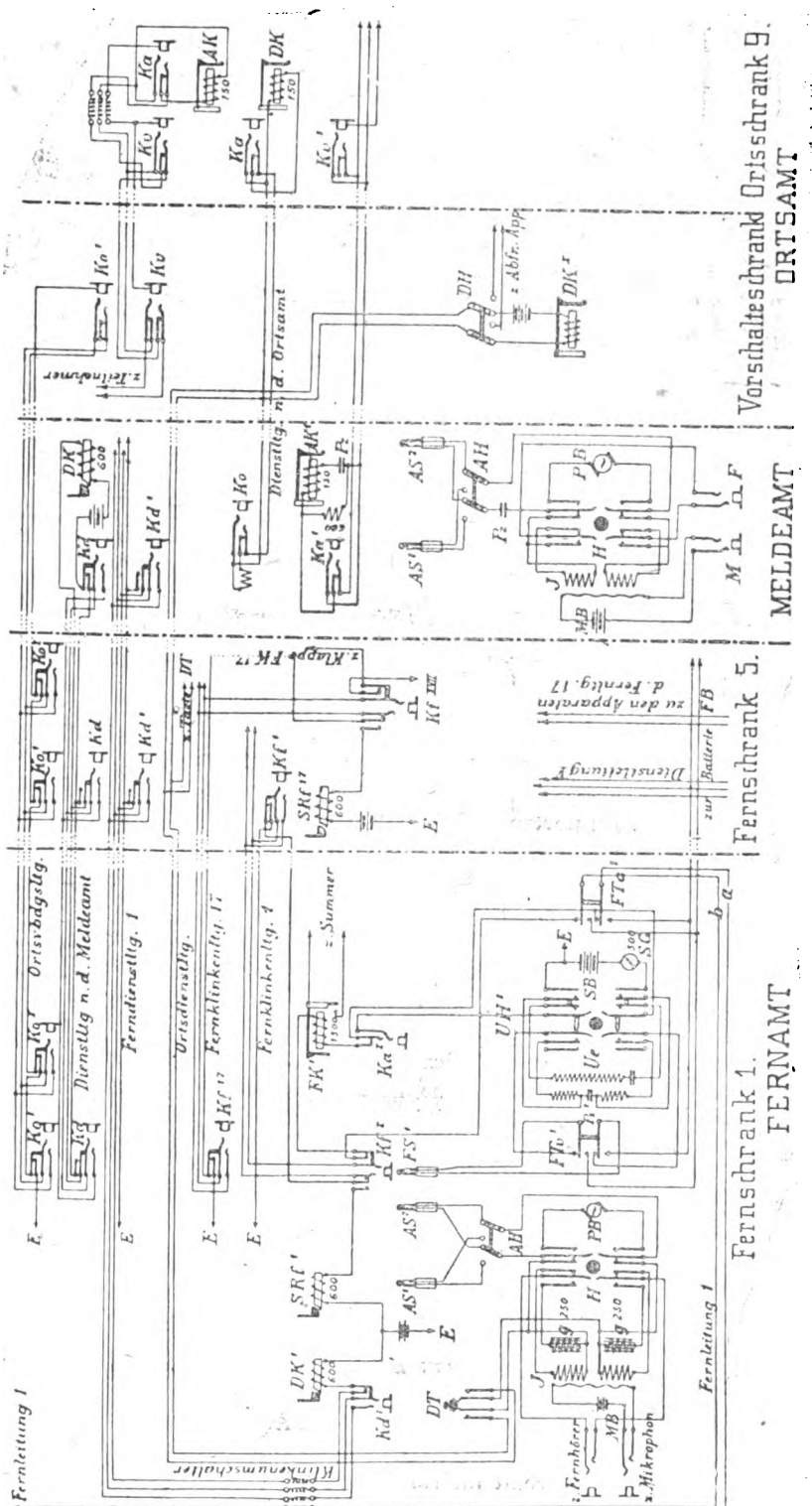


Fig. 2. — Schéma général des circuits du meuble interurbain de Strasbourg.

Digitized by Google

meuble, on introduit une fiche dans le conjoncteur correspondant Kd' ; le courant produit par les accumulateurs de signalisation passe par le fil de signalisation et se rend à la terre par les deux ressorts supérieurs du conjoncteur utilisé. Si on introduit une fiche dans le conjoncteur Kd^1, ce circuit se trouve coupé. Inversement apparaît le signal visible SRf^1 de la ligne de conjoncteurs de circuit n° 1, si on introduit une fiche dans le conjoncteur Kf^1 ; et ce signal s'efface, dès que, sur un autre meuble interurbain, la fiche est insérée dans le conjoncteur Kf^1 : le signal de fin réapparaît quand on retire cette même fiche.

La clé UH est à trois positions. Dans sa position intermédiaire, ou de repos, celle qui est représentée sur la figure, la fiche FS est en communication directe avec le circuit interurbain. Dans la position avant, le translateur Ue est intercalé, dans la position arrière, il vient s'ajouter un signal de fin ; le milieu de la bobine du translateur est coupé par un jeu de cellules de polarisation, qui empêche le courant de la batterie des signaux de fin de conversation de se fermer sur la bobine même du translateur ; le signal de fin est connecté aux bornes intérieures de cette bobine.

Le poste d'opératrice, qui peut être un combiné ou un microphone de poitrine associé à un téléphone serre-tête, est mis en circuit au moyen de deux fiches jumelées. Le circuit secondaire de la bobine d'induction microphonique est en deux parties ; en parallèle, il y a une bobine de self-inductance g g, qui, au moyen du commutateur H (à gauche), peut être substituée à cette bobine, si l'employé a à rentrer sur la ligne pour contrôler le signal de fin. En portant à droite le commutateur H, on envoie sur les lignes d'abonnés le courant alternatif qui sert à l'appel.

Exploitation et manœuvres. — Toutes les mises en communication avec les lignes d'abonnés ont lieu sur l'initiative de l'interurbain.

Demande de communication interurbaine. — Si un abonné désire une communication interurbaine, le multiple urbain le relie à une ligne de service auxiliaire avec une annotatrice, qui inscrit la demande sur une fiche de conversation qu'elle transmet au service interurbain. Si l'on désire quelques renseignements sur la durée probable de l'attente, etc., l'annotatrice les prend au moyen d'une ligne intérieure de conversation.

Si le demandeur raccroche son récepteur, après avoir terminé sa requête, le signal de fin de conversation apparaît au multiple urbain.

Liaison d'un circuit interurbain avec un abonné. — Si le volet de l'annonciateur FK^1 tombe, on enfonce dans le conjoncteur Ka^1 correspondant la fiche AS^1 ou AS^2 du poste d'opérateur et l'on prend les ordres.

Marche du courant : Circuit interurbain n° 1, touche FTa^1, conjoncteur Ka^1, fiche AS^1 (ou AS^2), commutateur H, poste d'opérateur. L'annonciateur FK^1 est mis hors circuit.

Pour appeler l'abonné, on abaisse la touche DT et en déplaçant le levier H on appelle l'opératrice du tableau des conjoncteurs à double rupture. Cette opératrice tourne le commutateur DH' et s'introduit sur la ligne de service spéciale de la table interurbaine, elle prend le numéro de l'abonné demandé, elle le relie à une ligne auxiliaire disponible dont elle donne le numéro, par exemple n° 1, au service interurbain. Le service interurbain met la fiche AS^1 (ou AS^2) dans Ko^1, appelle l'abonné, met la fiche de circuit FS^1 dans le conjoncteur KO^1 et porte la clé UH^1 sur sa position arrière. Une fois la conversation engagée, les fiches d'opératrices AS^1 et AS^2 sont retirées des conjoncteurs Ko^1 et Ka^1. L'annonciateur à volet FK^1 reste en pont sur le circuit interurbain comme signal de fin de conversation. Pour la ligne d'abonné, le signal automatique de fin de conversation SG^1 se trouve en circuit sur le meuble interurbain.

Marche du courant : circuit interurbain n° 1, bouton d'appel bipolaire FTa^1, translateur Ue bouton d'appel bipolaire FTv^1, fiche de circuit interurbain FS^1, conjoncteur de ligne auxiliaire Ko^1, paire de fiches et conjoncteur à double rupture, poste d'abonné.

Dès que l'abonné raccroche son téléphone, apparaît le signal de fin SG^1. Sur quoi, la fiche FS^1 est retirée de Ko^1 et, par là, le signal de fin de conversation est à son tour retransmis au panneau urbain des conjoncteurs à double rupture.

Mise en communication de deux circuits interurbains. — Si c'est d'un circuit interurbain, n° 1, par exemple, que l'on désire être relié à un autre circuit interurbain n° 17, par exemple, aboutissant au meuble interurbain n° 5, la fiche d'opérateur AS^1 (ou AS^2) est introduite dans le conjoncteur de la ligne de service spéciale n° 5 de table interurbaine. L'opératrice de la table n° 5 se trouve par là même appelée au moyen du signal optique Dk^5. Cette opératrice se porte donc sur le conjoncteur Kd^v, reçoit l'indication du circuit demandé, met sa fiche FS^{17} dans le conjoncteur Kfxvii de la ligne correspondante des conjoncteurs de circuit et en informe sa collègue du meuble 1. Celle-ci insère alors sa fiche FS^1 dans le conjoncteur multiplé Kf^{17}. En introduisant une fiche dans le conjoncteur Kfxvii du meuble 5, on a mis *hors circuit* l'annonciateur à clapet FK^{17} et *en circuit* le signal optique SRf^{17}. Le voyant de ce signal s'efface de nouveau par l'insertion de la fiche dans le conjoncteur multiplé Kf^{17} du meuble 1.

Dans les deux meubles interurbains, on a mis hors circuit les translateurs, les signaux automatiques de fin de conversation et sur le meuble 5 l'annonciateur (FK^{17}) ; l'annonciateur à clapet FK^1 reste en pont pour servir de signal de fin de conversation.

Marche du courant : Dans le meuble 1, circuit interurbain n° 1, bouton d'appel bipolaire FTa^1, bouton FTv^1, fiche de circuit FS^1, conjoncteur multiplé Kf^{17}, ligne des conjoncteurs de circuit 17, dans le meuble 5, conjoncteur Kfxvii, fiche de circuit FS^{17}, bouton FTv^{17}, bouton FTa^{17}, circuit interurbain 17.

Dès qu'arrive le signal de fin de conversation, et que, par conséquent le volet FK^1 tombe, l'opératrice du meuble 1 retire la fiche FS^1 de Kf^{17} et renvoie ainsi sur

Digitized by Google

le meuble 5 le signal de fin de conversation, où le signal optique SR[17] redevient visible.

Colonel POMEY.

Pour faciliter la lecture des gravures, je donne ci-dessous une légende des signes abréviatifs qui y sont employés et il est facile de reconnaître les lettres des mots allemands que l'abréviation rappelle.

F k : Fernklappe. Annonciateur d'appel et de fin de conversation pour circuit interurbain.

K d : Klinke der Ferndienstleitung. Conjoncteur de la ligne de conversation entre le meuble interurbain et les annotatrices.

K f : Klinke der Fernklinkenleitung. Conjoncteur de la ligne des conjoncteurs multiples correspondant à un circuit donné.

K o : Klinke der Ortsverbindungsleitung. Conjoncteurs, allant par paires, sur les lignes auxiliaires reliant l'interurbain au multiple urbain.

K a : Abfrage Klinke. Conjoncteur de réponse pour prendre les ordres sur un circuit.

S G : Schlusszeichen Galvanometer. Signal de fin optique.

S R f : Schlusszeichen Relais Fernklinkenleitung. Signal de fin par relais sur la ligne des conjoncteurs multiples.

F S : Fernleitung. Verbindungsstöpsel. Fiche de mise en communication pour circuit.

F T a : Fernleitung Taste Abfrage. Touche ou bouton d'appel sur circuit interurbain, du côté circuit.

F T v : Fernleitung Taste Verbindung. Bouton d'appel sur circuit, du côté de la fiche monocorde.

U H : Umschalter; Hebel. Commutateur à levier. Commutateur à clé.

A H : Abfrage Apparat. Commutateur à clé pour introduire le poste d'opérateur.

D T : Taste für die Ortsdienstleitung. Touche ou bouton pour mettre le poste d'opérateur sur la ligne de service individuelle du meuble.

Fernamt : bureau interurbain.

Meldeamt : panneau des annotatrices qui reçoivent les demandes.

Ortsamt : multiple urbain.

Fernschrank 1 : meuble interurbain n° 1.

Fernschrank 5 : meuble interurbain n° 5.

Vorschalteschrank : meuble de tête du bureau urbain, panneau des conjoncteurs à double rupture.

Ortsschrank : meuble n° 9 du multiple urbain.

Fernleitung : circuit interurbain.

Mikrophon : microphone d'opératrice.

Fernhörer : téléphone d'opératrice.

Klinkenumschalter : répartiteur d'entrée.

Summer : ronfleur.

Ortsverbindungsleitung : ligne auxiliaire entre le bureau interurbain et le multiple urbain.

Dienstleitung nach dem meldeamt : ligne auxiliaire entre l'opératrice interurbaine et l'annotatrice.

Ortsdienstleitung : ligne auxiliaire de service individuel entre le meuble interurbain n° 1 et le multiple urbain.

Ferdienstleitung : ligne de conversation entre les annotatrices et le meuble interurbain.

Fernklinkenleitung : ligne des conjoncteurs multiples afférents à un circuit interurbain.

Taste : touche ou bouton.

Klappe : annonciateur à volet.

Dienstleitung nach dem Ortsamt : ligne auxiliaire de service entre les annotatrices et le multiple urbain.

Zum Abfrageapparat : vers le poste d'opératrice.

Zur Batterie : vers la batterie d'accumulateurs d'appel pour les circuits interurbains (F. B).

Les carbures, borures et siliciures métalliques

Les carbures, borures et siliciures métalliques appartiennent, au point de vue fabrication, au domaine de l'électrothermie. Au point de vue emplois, ils se signalent par des propriétés fort diverses, notamment par leur dureté, leurs qualités métallurgiques, les substances auxquelles ils donnent naissance au contact de certains corps, etc. Ils tendent à devenir de plus en plus des produits industriels. Aussi M. J. Escard a-t-il cru intéressant de passer ces corps en revue en insistant sur ceux qui par leurs qualités et leur facilité de fabrication méritent le plus d'être signalés à l'attention des industriels et notamment des métallurgistes et des chimistes.

I. — Carbures métalliques.

Il existe un grand nombre de carbures métalliques, faciles, pour la plupart, à obtenir au four électrique. Un certain nombre de métaux cependant ne se combinent pas directement au carbone, tels sont le cuivre (1), le zinc, le mercure, etc. Les carbures des autres métaux ont été classés de différentes façons, mais on s'accorde généralement à les diviser en deux grandes catégories :

a) les carbures *non décomposables par l'eau* : carbures de fer, de chrome, de molybdène, de tungstène, de vanadium, de zirconium, de titane, etc. ; *b*) les carbures *décomposables par l'eau froide* : carbure de calcium, d'aluminium, de manganèse, de strontium, de baryum, de lithium, de thorium, d'uranium, etc.

Il existe aussi des carbures doubles, tels que ceux de tungstène et de chrome, de fer et de manganèse, de fer et de tungstène, des carbures complexes tels que les carbo-siliciures, les carbo-azotures, etc.

Parmi tous ces composés, nous ne décrirons que ceux ayant un intérêt industriel. A ce titre, le *carbure de cal-*

(1) Les recherches toutes récentes de Briner et Senglet (voir *Revue de Métallurgie*, juillet-août 1916, p. 155) semblent cependant démontrer qu'aux températures élevées il y aurait formation d'un carbure endothermique de cuivre (union des deux éléments par chauffe à très haute température du cuivre et du carbone). Le carbure ainsi obtenu se décomposerait rapidement à 1 600°, mais d'autant moins vite que la température est plus basse.

Digitized by Google

cium vient en tête par sa propriété de donner de l'acétylène au contact de l'eau et par les composés qu'il forme en présence de l'azote (cyanamide, etc.). D'autres carbures, le *carbure de silicium* et le *carbure de bore* (1er février 1919, p. 180 et 190), par exemple, constituent, par leur dureté, des abrasifs pouvant, dans certaines conditions, rendre de grands services à l'industrie. D'autres enfin, très réfractaires, peuvent, à l'état compact, servir pour la construction des fours de fusion à haute température.

Carbure de calcium. — Fabrication. — Le carbure de calcium est un des plus connus et des plus anciens produits du four électrique. Sa fabrication industrielle date, en effet, de 1894 ; elle repose sur la réduction de la chaux par le carbone à haute température ; le calcium et le carbone s'unissent pour former du carbure de calcium. Cette réaction, très simple, a lieu suivant l'équation suivante

$$CaO + 3C = C^2Ca + CO$$

Elle est fortement endothermique et nécessite l'emploi d'une source calorifique intense, d'où l'intervention du four électrique pour la réaliser.

On peut substituer à la chaux du carbonate de calcium ou calcaire, mais le procédé est moins avantageux à cause du poids supérieur de matière qu'il nécessite ; en outre on dépense une plus grande quantité d'énergie électrique, l'excès correspondant à la décomposition du calcaire en chaux et acide carbonique. Industriellement on emploie la *chaux*. Cette matière est généralement fabriquée dans les usines à carbure elles-mêmes à l'aide des calcaires exploités aux environs ; ces derniers sont naturellement choisis parmi les plus purs en évitant notamment ceux qui renferment des phosphates, des sulfates ou des sels de magnésie. Le meilleur calcaire pour cette application doit contenir au moins 98 pour 100 de carbonate de calcium pur ; la chaux qu'on en retire doit titrer 99 pour 100 d'oxyde de calcium CaO. Les impuretés du calcaire passent, en effet, en grande partie dans le carbure et ont des inconvénients pour ses emplois (acétylène, cyanamide, etc.). La chaux vive s'emploie de préférence à la chaux éteinte bien que celle-ci soit cependant utilisée dans plusieurs usines parce qu'elle évite le broyage, étant déjà en poudre.

On facilite beaucoup la conduite des fours, surtout de ceux à grande intensité de courant (20 000 A par exemple) en n'y introduisant la chaux que parfaitement calcinée et, si possible, sortant depuis très peu de temps du four à chaux. La qualité du carbure est beaucoup améliorée et sa densité augmente, car il ne contient plus de vacuoles. C'est une erreur de supposer que l'énorme chaleur produite au point de combinaison du carbone et du calcium se transmet assez facilement à la charge pour chasser toute humidité et achever la décomposition du calcaire insuffisamment calciné. L'hydrogène et l'anhydride carbonique mis en liberté au moment où la charge arrive en ce point ne sont pas totalement évacués et les réactions se poursuivent encore pendant et après la coulée du carbure.

Le *charbon* doit aussi être très pur. On emploie, soit de l'anthracite anglais à moins de 6 pour 100 de cendres, soit du coke lavé à 5 pour 100 de cendres environ. Des analyses rigoureuses faites régulièrement dans les laboratoires des usines permettent de contrôler à chaque instant, et surtout au moment de la réception, la valeur du combustible : les charbons trop riches en soufre sont refusés. Le coke est actuellement le charbon le plus employé, car c'est lui qui donne les meilleurs résultats au point de vue du rendement. Dans quelques usines, on l'emploie mélangé d'anthracite, mais comme l'anthracite de premier choix coûte aussi cher que le coke et que, d'autre part, l'anthracite ordinaire contient des impuretés, on n'a guère intérêt, dans la majorité des cas, à faire ce mélange ; en outre, le coke, même avec un pourcentage de cendres élevé a une conductivité électrique bien supérieure à celle de l'anthracite et, en pratique, on constate en effet que le mélange de chaux et de coke est beaucoup plus conducteur que celui de chaux et anthracite, d'où le meilleur rendement du premier mélange.

Cependant l'anthracite ordinaire n'a pas un pourcentage de cendres supérieur à celui du coke, mais il contient du soufre et des carbures volatils. Il est donc facile, par une calcination à température moyenne, de le désulfurer et de le dégazéifier comme cela se pratique dans les fabriques d'électrodes. Cette opération est facilement et économiquement réalisable dans les usines à carbure où, à certaines périodes de l'année, on dispose d'un excès d'énergie électrique. On obtient ainsi un charbon à la fois conducteur et épuré de soufre.

Fours à carbure. — Au point de vue de la façon d'obtenir le carbure, on peut distingner deux sortes de fours : ceux dits *à écoulement*, dans lesquels le produit final est retiré de l'appareil à l'état liquide par un trou de coulée, et ceux *à pains* dans lesquels le carbure est retiré à l'état solide après refroidissement du four. Les premiers peuvent fonctionner d'une manière continue, les charges se succédant au fur et à mesure de l'écoulement du carbure fabriqué ; les seconds nécessitent un certain temps entre deux opérations successives, le carbure devant être d'abord refroidi, puis brisé en morceaux avant d'être extrait de l'appareil.

Bien entendu, c'est toujours du courant alternatif qu'on se sert, pour éviter les phénomènes d'électrolyse ; mais, suivant les installations, on utilise, soit du monophasé, soit du triphasé. Les fours sont de construction très variée ; parfois les électrodes occupent toutes deux la partie supérieure (fours à cuve indépendante du circuit), le courant allant de l'une à l'autre à travers le mélange fondu formant résistance ; parfois elles sont horizontales (fig. 1 et 2) ;

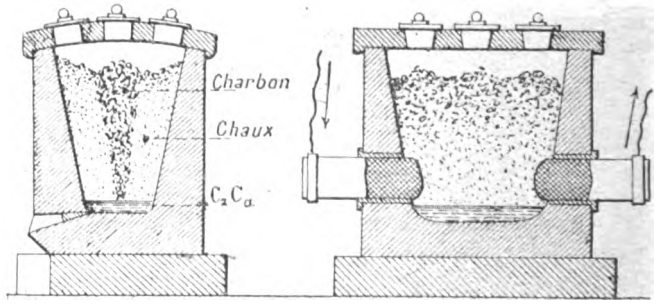


Fig. 1 et 2. — Coupes d'un four à carbure de calcium à électrodes horizontales.

parfois encore, la partie inférieure du four ou sole constitue l'un des pôles (fig. 3 à 6), l'autre pôle étant formé par une seule électrode verticale mobile placée à la partie supérieure. On emploie aussi les fours à cuve mobile, c'est-à-dire à chariot, qui permettent d'opérer rapidement par substitution d'un chariot vide à un chariot plein.

Les fours à arc sont de moins en moins employés : ils présentent l'inconvénient de produire parfois une tempéra-

Digitized by Google

ture trop élevée qui amène la dissociation du carbure formé, d'où pertes d'énergie et de matière ; de plus, l'arc a un pouvoir soufflant très grand qui peut amener le soulèvement des matières fines introduites dans le four, entraînant ainsi la formation de poussières, de gaz chauds et de fumées abondantes qui rendent irrespirable l'atmosphère des ateliers. Par contre, il faut leur reconnaître l'avantage

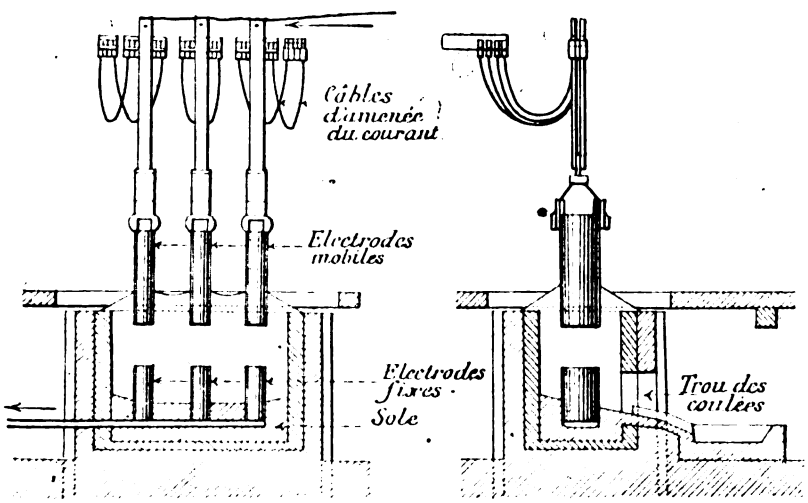


Fig. 3 et 4. — Coupes d'un four à carbure de calcium à une électrode verticale mobile et sole conductrice.

de pouvoir utiliser de hautes tensions et une faible intensité, ce qui dispense de grosses canalisations.

Le modèle le plus courant des fours à carbure est aujourd'hui celui à arc et à résistance (fig. 7) dans lequel le mélange a toujours à peu près la même conductivité électrique. La puissance varie entre 500 et 1 000 ch, le diamètre de 2,50 m à 3,50 m, la section des électrodes de 0,40 m à 0,70 m. On coule le carbure au bout d'un temps fixé et à une température déterminée pour éviter les pertes et obtenir un produit de constitution homogène.

L'intensité et la tension varient avec les dimensions des appareils ; actuellement, dans les fours de 1 000 ch à sole conductrice et à électrode verticale mobile, le courant est de 20 000 à 24 000 A sous 35 V environ.

On s'accorde généralement à reconnaître que les fours monophasés à une seule électrode sont les plus faciles à

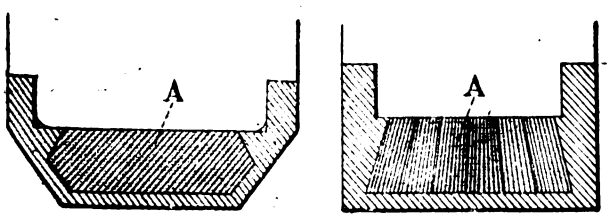


Fig. 5 et 6. — Coupes d'un autre type de four à carbure à sole conductrice.

conduire et consomment moins d'électrodes s'il s'agit de basses puissances. Mais au-dessus de 500 ch, les fours à électrodes multiples sont les plus avantageux ; ils exigent moins de main-d'œuvre et rendent possible un fonctionnement continu. Les fours à trois électrodes permettent d'adopter des dispositifs plus commodes que ceux à deux électrodes en série. C'est pourquoi, dans les dernières unités construites (Norvège, Autriche), dont la puissance atteint jusqu'à 4 000 kilowatts, on a adopté le système triphasé avec cuve isolée.

Les conducteurs électriques qui relient les électrodes au circuit ou aux transformateurs constituent la partie la plus coûteuse des fours de grande puissance. Ils doivent avoir une partie flexible permettant de faire descendre l'électrode au fur et à mesure de son usure et aussi de la remplacer. Ils comportent en général des séries de câbles en cuivre de petit diamètre aboutissant aux parties rigides des porte-électrodes constitués par des barres en cuivre. Si les contacts sont bons, la densité du courant doit être normalement de 1,5 A : mm². Les conducteurs tubulaires en cuivre, avec circulation d'eau, donnent encore de meilleurs résultats, puisque la résistance et la chute de potentiel y sont moins élevées. Les attaches et les isolants des câbles demandent un soin tout particulier.

Marche de l'opération. — Pour produire une tonne de carbure de calcium, il faut environ 875 kg de chaux et 560 kg de charbon ; la différence représente l'oxyde de carbone dégagé. Un léger excès de chaux favorise la réaction, car on admet que c'est elle qui fond d'abord et dissout ensuite le carbone pour former le carbure. Le carbone du mélange brûlé au contact de l'air est à peu près compensé par celui provenant des électrodes.

Dans les fours fonctionnant d'une façon continue, on peut obtenir jusqu'à quatre coulées par heure. L'immersion de l'électrode supérieure dans le mélange est essentielle pour restreindre au minimum, les projections et fumées. Le mélange à traiter descend peu à peu dans la zone inférieure

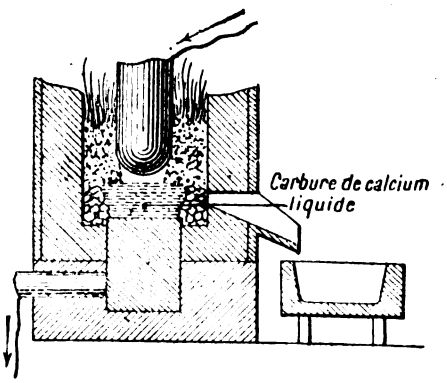


Fig. 7. — Four à carbure de calcium à arc et à résistance.

de l'appareil (fig. 7), le long de l'électrode, à mesure que sa température augmente une fois le circuit fermé. La zone de fusion, ou distance du centre de l'électrode à la limite extérieure du carbure liquide, dépend de la quantité de chaleur

Digitized by Google

dégagée par unité de surface. Pour la bonne marche du four, il convient donc de déterminer soigneusement la meilleure densité de courant pour arriver à la fusion du mélange et à la formation du carbure liquide : avec une densité insuffisante, on n'arrive pas à réduire la chaux et avec une intensité trop élevée, on dissocie et on volatilise partiellement le carbure obtenu.

Les usines employant plusieurs fours simultanément disposent généralement de grands halls dans lesquels les fours sont alignés sur un seul rang. Le charbon et la chaux, préalablement concassés et mélangés dans des appareils effectuant automatiquement les pesées, arrivent au-dessus des fours par un transporteur qui les déverse dans chaque appareil à l'aide de trémies. Dans certaines installations, la chaux et le charbon sont amenés de l'extérieur à l'usine même par voie ferrée et déchargés sur des couloirs à grande pente qui les entraînent dans des broyeurs. Les matières concassées sont montées automatiquement dans des trémies d'où elles s'écoulent dans deux pesons qui s'emplissent spontanément des quantités voulues de charbon et chaux. Les pesons évacuent simultanément leurs charges sur des tables tournantes qui rejettent, vers une arrivée commune, les pesées qui viennent d'être faites. Le mélange homogène ainsi préparé est enlevé jusqu'aux trémies de chargement des wagonnets qu'un plan incliné conduit aux bouches mêmes des fours électriques. Un seul homme suffit à surveiller cette préparation mécanique qui peut produire en douze heures 30 t de mélange.

Rendement. — La technique de la fabrication du carbure peut être considérée comme établie, mais par cela même que les méthodes de travail tendent à s'unifier, les progrès de détails sollicitent davantage l'attention des fabricants qui cherchent à augmenter le rendement de l'énergie, à améliorer la qualité du carbure, à diminuer la consommation des matières premières et à restreindre les frais de main-d'œuvre.

Au point de vue du rendement, on obtient aujourd'hui de 1 800 à 2 000 kg de carbure de calcium par kilowatt-an ; des travaux récents ont montré que ce rendement ne saurait pratiquement être dépassé qu'à l'aide de fours de grande puissance, absorbant au moins 2 500 ch et produisant une meilleure utilisation calorifique de l'énergie électrique. On aurait même installé, dans des usines étrangères, des fours triphasés de 4 000, 8 000, et 15 000 kw, dont le fonctionnement serait des plus satisfaisants. D'autre part, on cherche à faire servir au chauffage préalable des matières premières l'énergie calorifique de l'oxyde de carbone produit dans la réaction ; cette utilisation rend nécessaire la construction de fours couverts et entièrement clos, qui facilitent par surcroît l'absorption des fumées.

D'après M. Flusin, on ne fabrique pas, sauf sur demande, de carbure à teneur supérieure à la teneur officielle, soit 300 litres d'acétylène par kilogramme de carbure. En effet, à mesure que l'on cherche à se rapprocher de la teneur théorique (349 litres), le produit devient moins fusible et le rendement thermique diminue. La nature des impuretés du carbure de calcium a d'ailleurs plus d'importance que la richesse même du carbure. On s'attache maintenant à employer des matières premières pures ne renfermant que de très petites quantités d'éléments nuisibles tels que le phosphore et le soufre. Enfin, un facteur essentiel de la qualité d'un carbure est une fabrication régulière, produisant à partir de matières premières de composition constante un carbure de qualité constante ; les fours de grande puissance peuvent seuls donner cette régularité de fabrication.

La consommation des matières premières par tonne de carbure est actuellement d'environ 950 kg de chaux, 600 kg de charbon et 20 kg d'électrodes ; ce résultat n'est possible qu'avec des fours puissants et un mode de travail très au point. La diminution des frais de main-d'œuvre s'obtient par le développement de la fabrication automatique.

Traitement après fabrication. — Une fois coulé et refroidi, le carbure est envoyé dans des salles de préparation où on lui fait subir plusieurs opérations dans le but de l'amener à sa forme commerciale : concassage, granulage, etc. Le produit passe dans des broyeurs qui le brisent et, suivant leur grosseur, les morceaux sont divisés en *tout-venant*, *concassé* et *granulé* ; la poussière est éliminée. Le *tout venant* comprend les morceaux de toutes grandeurs, depuis les débris de 10 à 20 mm jusqu'aux fragments de la grosseur du poing ; le *concassé* comprend les morceaux limités et classés entre les dimensions suivantes : 15 à 20 mm, 20 à 40 mm, 40 à 60 mm, 60 à 80 mm ; le *granulé* comprend le carbure en grains de grosseurs variables classés de 1 à 2 mm, 2 à 4 mm, 4 à 7 mm, 7 à 10 mm, 10 à 15 mm. Ces dimensions ne sont évidemment qu'approximatives et sont sujettes à une tolérance de 25 pour 100 au-dessus ou au-dessous des dimensions extrêmes.

En France, le carbure se vend dans des fûts en tôle plombés pesant de 70 à 75 kg, poids brut pour net, c'est-à-dire le poids de l'emballage (3 à 4 kg) étant facturé au prix de la marchandise. En temps normal, le prix du carbure oscille entre 28 et 33 fr les 100 kg, les fûts étant supposés pris dans les dépôts des centres de consommation.

Propriétés du carbure de calcium. — La couleur du carbure de calcium varie du gris terreux au noir mordoré avec, parfois, des reflets irisés rappelant ceux de l'acier trempé. Sa texture est variable : le carbure en pains des fours discontinus présente un aspect spongieux et est généralement à gros cristaux ; le carbure coulé possède une cristallisation plus fine et est plus compact.

Cependant ni la couleur, ni la texture ne peuvent servir de guide pour apprécier la qualité du carbure industriel. Fabriqué avec des matières premières chimiquement pures il serait complètement transparent. Sa dureté se rapproche de celle du granit. Sa densité varie entre 2,2 et 2,3 ; il est inflammable et sa température de fusion est comprise entre 2 500 et 2 800°. Il est insoluble dans presque tous les réactifs connus, dans la benzine, le pétrole, le sulfure de carbone. A la température du four électrique et par l'action du courant continu, il se laisse électrolyser et, dans certaines conditions expérimentales, laisse cristalliser son carbone sous la forme diamant ; ce fait a été nettement mis en évidence par De Boismenu. Le chlore, le brome, l'iode, le phosphore, l'oxygène, l'azote réagissent sur lui à des températures plus ou moins élevées, mais la réaction la plus intéressante est celle qu'il donne en présence de l'eau et qui est la suivante :

$$C^2\,Ca + H^2O = C^2\,H^2 + CaO.$$

On obtient de la chaux et de l'acétylène. Cette réaction est accompagnée d'un fort dégagement de chaleur, car elle fournit environ 500 calories par kilogramme de carbure. C'est là, comme on le sait, la principale application du carbure de calcium.

L'acide sulfurique ordinaire l'attaque à la température ordinaire avec dégagement d'acétylène et formation du sulfate de calcium.

Digitized by Google

Les principales impuretés du carbure de calcium sont le silicium à l'état de siliciures plus ou moins complexes, le soufre à l'état de sulfure de calcium ou d'aluminium, le fer à l'état de siliciure et de carbosiliciure, le phosphore à l'état de phosphore de calcium. Ce dernier corps est l'impureté la plus gênante parce que, en présence de l'eau, il se décompose en donnant du phosphure d'hydrogène qui nuit aux qualités de l'acétylène.

Industrie du carbure de calcium ; production et consommation. — On évalue à 80 environ le nombre des usines à carbure en activité dans les divers pays et à 250 000 t la production globale annuelle. La France compte, à elle seule, une vingtaine d'usines qui sont, pour la plupart, voisines de Grenoble et dont la production est de 30 000 t environ. Cette production est dépassée par celle de la Suède et de la Norvège réunies (55 000 t), celle des États-Unis et du Canada réunis (40 000 t avec 5 usines seulement) et celle de l'Italie (32 000 t avec 9 usines).

La puissance affectée spécialement à la production de ce produit dans les divers pays du globe est, au total, d'environ 280 000 ch ; une puissance de 380 000 ch est installée en vue de cette unique application. Les deux principaux pays importateurs sont l'Angleterre et l'Allemagne, cette dernière pour 30 000 t par an. Les principaux pays exportateurs sont la Suisse (30 000 t), la Suède et la Norvège (15 000 t). En France, la puissance installée pour la production du carbure est de 50 000 ch environ.

La répartition de la production est la suivante :

Savoie, 20 000 ch ; Haute-Savoie, 8 000 ch ; Isère, 11 000 ch ; Ain, 1 000 ch ; Alpes-Maritimes, 3 000 ch ; Pyrénées, 11 500 ch.

La consommation nationale est d'environ 25 000 t ; le reste du tonnage est exporté en Algérie et dans d'autres colonies. L'exportation sur territoire étranger est rendue à peu près impossible par l'activité de la concurrence des autres pays exportateurs.

Emplois du carbure de calcium. — *Acétylène.* — En dehors de son application à l'éclairage, l'acétylène est très employé actuellement dans les chalumeaux dits « oxyacétyléniques », pour la soudure des métaux et alliages. Comme il contient les 97 centièmes de son poids de carbone, on l'utilise aussi à la préparation du « noir d'acétylène », sorte de noir de fumée très pur obtenu par la détonation de l'acétylène comprimé à 5 kg : cm² dans des appareils en acier. On obtient environ 1 kg de noir par mètre cube de gaz.

L'avantage de l'acétylène dans l'éclairage tient à trois qualités importantes : son faible prix de revient, son grand pouvoir éclairant et sa facilité de production. Les appareils actuellement utilisés pour la production de ce gaz peuvent être divisés en trois catégories :

1° *Appareils à production intermittente.* — Ils sont encore appelés *non automatiques* parce qu'ils fonctionnent par intermittence ; le gaz est produit à l'avance et recueilli dans un gazomètre de grandeur appropriée à la consommation maximum. L'acétylène est toujours obtenu par chute ou immersion d'une quantité déterminée de carbure dans de l'eau ;

2° *Appareils à production continue.* — Ils fonctionnent automatiquement et sont les plus employés ; le gaz est produit au fur et à mesure de la consommation. On les divise en trois classes : en appareils à chute d'eau, à contact et à chute de carbure. Les appareils à *chute d'eau* sont à gazomètre à cloche mobile ou à gazomètre à refoulement d'eau ; dans le premier cas, le fonctionnement automatique est produit par le mouvement de la cloche mobile ; dans le second, il est produit par dénivellation ou différence de pression. Ils présentent l'avantage de ne nécessiter qu'un faible volume d'eau, d'être d'une grande simplicité de fonctionnement, d'une sécurité absolue et d'avoir un bon rendement. Par contre, ils exigent un nettoyage assez long et minutieux, occasionnent des pertes de gaz, celui-ci étant en outre incomplètement pur.

Les appareils à *contact* fournissent l'acétylène, comme leur nom l'indique, par contact, le carbure pouvant être fixe et l'eau mobile, ou l'eau fixe et le carbure mobile. Ce sont ceux qui s'échauffent le plus, donnent la surproduction la plus abondante et le gaz le moins pur. Leur simplicité rend leur emploi pratique pour les petits appareils portatifs de faible débit qui doivent fonctionner jusqu'à épuisement de la charge de carbure sans être arrêtés.

Les appareils à *chute de carbure* dans l'eau produisent le gaz par la commande automatique du mouvement de la cloche mobile. Ils présentent l'avantage de donner de l'acétylène exempt d'ammoniac et d'hydrogène sulfuré, permettent des débits importants et variables et, en outre, facilitent les nettoyages. Ils emploient soit le carbure tout-venant, soit le carbure granulé.

3° *Appareils à acétylène dissous.* — L'acétylène présente la propriété importante d'être soluble dans l'acétone. On l'utilise sous cette forme parfaitement pur et comprimé dans des cylindres remplis de matières poreuses imbibées d'acétone. Dans ces cylindres, pour 1 litre de capacité on a environ 100 litres d'acétylène sous la pression de 10 atmosphères. On voit immédiatement l'avantage de ce procédé : les bouteilles, facilement transportables, ne sont pas encombrantes et, pour utiliser le gaz accumulé, il suffit d'adapter à la bouteille un régulateur de pression.

Carbure comprimé, enrobé, aggloméré, moulé. — Pour faciliter la conservation du carbure de calcium et éviter notamment l'action de l'air humide qui le décompose peu à peu superficiellement, on a imaginé divers procédés dans le but de le mettre à l'abri de l'air extérieur : d'où les variétés de carbure dites carbure *imprégné*, *enrobé*, *aggloméré*, *moulé*, etc. L'imprégnation se fait le plus souvent par le pétrole, les huiles lourdes, l'ozokérite.

L'*acétylithe* est du carbure pur enrobé dans du glucose, avec addition, au besoin, de pétrole et de matières inertes telles que le carbonate de calcium, le talc, le sable fin. L'acétilythe est principalement employé, à la place du carbure de calcium, dans les phares automobiles et petits générateurs.

Les *agglomérés* et *comprimés* ont une composition à peu près analogue. Le carbure, préalablement granulé, est imprégné de pétrole, puis additionné de soufre, de glucose, de litharge ou de carbonate de sodium. La masse est portée dans des moules et subit à la presse hydraulique une compression très énergique qui aboutit à la formation d'agglomérés de forme cylindrique. Ces comprimés sont presque inattaquables à l'air humide et, employés dans des appareils appropriés, produisent l'acétylène presque au fur et à mesure de la consommation sans surproduction appréciable, même à l'arrêt brusque. Leur emploi, qui a déjà pris une certaine extension à l'étranger, tend à se développer aussi en France et à remplacer en grande partie le carbure ordinaire pour les appareils portatifs.

Le carbure *moulé en cartouche* évite l'action de la vapeur d'eau se formant au-dessus du niveau d'eau dans la cloche du générateur, sur les morceaux de carbure ; il supprime

Digitized by Google

ainsi la gazéification continuelle produite lors même qu'il n'y a pas de consommation.

Suivant la taille de l'appareil, une ou plusieurs cartouches sont superposées, mais la gazéification n'a lieu qu'à la surface inférieure de la cartouche la plus basse. Au commencement de la consommation des gaz, le niveau d'eau arrive à la base inférieure de la cartouche et la gazéification commence de suite. Dès que l'acétylène se dégage, le gaz repousse l'eau de la cartouche et cette eau ne peut arriver à nouveau au carbure que lorsque la quantité d'acétylène correspondante et consommée.

Pendant la gazéification, le jeu de l'eau n'est que de quelques millimètres, de sorte que les variations de pression ne peuvent être remarquées dans les lieux de combustion. Il n'est pas nécessaire de faire usage d'un dispositif quelconque de régularisation pour ces appareils, la cartouche glissant dans son support au fur et à mesure de la combustion de l'acétylène à l'extérieur ; de cette manière, le niveau d'eau et la pression restent pratiquement constants.

Par opposition avec beaucoup d'appareils qui, à cause du carbure à grain fin, effectuent la fermeture du récipient à carbure par un tamis, les appareils qui emploient le carbure moulé n'ont pas besoin d'un tel tamis, attendu que les cartouches comprimées sont dures comme la pierre et forment une masse très compacte. Aussi, bien qu'entourée de gaz humide, la cartouche de carbure n'est pas attaquée sur sa surface cylindrique extérieure, attendu qu'elle y est protégée par un revêtement imprégné à l'huile. Pendant la marche, l'usure se fait régulièrement par couches horizontales.

Emplois divers du carbure de calcium. — A température élevée, le carbure de calcium absorbe l'azote et donne un composé intéressant, la cyanamide de calcium CAz^2Ca, employée comme engrais concurremment au nitrate de chaux.

Grâce à ses propriétés réductrices, le carbure de calcium peut également servir à la préparation de certains *métaux* et *alliages*. Les oxydes conviennent rarement (silice), mais les chlorures, fluorures et sulfures donnent généralement de bons résultats pourvu que le mélange soit porté à une température suffisante; la réaction se continue ensuite d'elle-même grâce à la chaleur dégagée, comme dans l'aluminothermie. Pour la préparation des alliages, le mieux est d'introduire le mélange des composés à réduire et de carbure en proportions correspondant à l'alliage qu'on désire obtenir, par petites portions successives dans un creuset chauffé. L'alliage fondu se rassemble au fond. Pour les métaux à bas point de fusion, on ajoute un peu de flux additionnel (borax ou sel ordinaire). On peut également remplacer un des composés à réduire par le métal correspondant.

Parmi les alliages qu'il est ainsi facile d'obtenir nous citerons ceux de cuivre — manganèse et cuivre — nickel avec une teneur quelconque en ces deux éléments. On les prépare en employant du chlorure de manganèse $Mn\,Cl^2$ ou du chlorure de nickel $Ni\,Cl^2$, en mélange soit avec du chlorure de cuivre $Cu\,Cl^2$, soit simplement avec de la tournure de cuivre. Suivant le cas on a pour l'alliage cuivre-manganèse l'une des deux équations ci-dessous :

$$Mn\,Cl^2 + Cu\,Cl^2 + 2\,C^2Ca = (Cu, Mn) + 2\,Ca\,Cl^2 + 4\,C$$

$$Mn\,Cl^2 + Cu + C^2Ca = (Cu, Mn) + Ca\,Cl^2 + 2C.$$

Le silico-calcium ou siliciure de calcium, alliage usité en métallurgie, se prépare en faisant agir le carbure de calcium sur la silice (sable ou quartz). On a l'équation suivante :

$$2\,SiO^2 + C^2Ca = Si^2Ca + 2\,CO^2.$$

Les fluotantalate et fluotitanate de potassium peuvent être réduits par le même procédé et alliés avec le cuivre. De même, on prépare des alliages de manganèse avec le bismuth, l'étain, le plomb en employant le premier à l'état de chlorure, les autres à l'état métallique.

Pour la préparation des métaux, cette réaction est surtout applicable à ceux qui ne forment pas de carbure. C'est ainsi que pour l'obtention du cuivre, on peut traiter directement le sulfure de cuivre naturel ou chalcosine. On a l'équation suivante :

$$S\,Cu^2 + C^2Ca = 2\,Cu + S\,Ca + 2C.$$

Ce procédé est susceptible d'une grande généralisation : il permet, en particulier, d'obtenir des alliages exempts de fer et d'aluminium.

A cette application intéressante du carbure de calcium, il convient d'ajouter celle basée sur son absorption facile de la vapeur d'eau. C'est ainsi qu'on l'utilise comme *matière desséchante* dans les expériences et essais d'électricité statique effectués en plein air. A ce titre, il semble supérieur au sodium, car il agit plus rapidement tout en étant meilleur marché. Cette même propriété le fait employer dans l'industrie de l'alcool, soit pour la préparation de l'alcool absolu par absorption de l'eau de l'alcool riche à 90 ou 95 pour 100, soit pour la détermination du titre en dosant le pourcentage d'eau, par la même méthode.

Signalons enfin l'emploi direct du carbure de calcium en agriculture contre le *phylloxéra* ; ses propriétés insecticides sont dues aux impuretés qu'il renferme et qui, en présence de l'humidité, provoquent le dégagement de gaz nocifs (ammoniac, hydrogène, phosphore, etc.) jouant le rôle de phylloxéricides.

Autres carbures métalliques. — Carbure de manganèse. — Ce carbure, de formule CMn^3, peut être préparé au four électrique par la réduction de l'oxyde salin de manganèse Mn^3O^4 par le charbon, d'après l'équation :

$$Mn^3O^4 + 5\,C = CMn^3 + 4CO.$$

On l'obtient aussi par l'action du carbure de calcium sur le même oxyde.

Suivant la composition exacte de l'alliage carbone-manganèse, on obtient soit des grains (0 à 3,6 pour 100 C), soit des aiguilles (au-dessus de 3,6 pour 100 C) ; à 6,72 pour 100 de carbone, l'alliage est composé presque uniquement d'aiguilles du carbure CMn^2, analogue à la cémentite, dans un alliage renfermant plus de 3,6 pour 100 de carbone et après trempe ou recuit.

Le carbure de manganèse donne, au contact de l'eau, un dégagement de méthane et d'hydrogène ;

$$CMn^3 + 6\,H^2O = CH^4 + H + 3\,MnO^2\,H^2.$$

Fondu avec une petite quantité de carbonate de manganèse il perd son carbone et permet d'isoler le métal, d'après l'équation suivante :

$$2\,CMn^3 + CO^3Mn = 7\,Mn + 3\,CO.$$

Carbure de nickel. — Ce carbure, de formule CNi^3 ne se forme qu'à des températures voisines de 2 100°. On

Digitized by Google

l'obtient par union des deux éléments. Après la chauffe on le coule en lingotières. Le produit ainsi préparé, attaqué par l'acide chlorhydrique, ne donne pas d'hydro-carbures, mais de l'hydrogène et du carbone, ce dernier sous forme de graphite :

$$2\,CNi^3 + 3\,HCl = 3\,Ni^2Cl + 3\,H + 2\,C.$$

Le point de fusion élevé de ce carbure permet de l'utiliser comme produit réfractaire dans certains modèles de fours électriques de laboratoire.

Carbure d'aluminium. — Il est facile d'obtenir un carbure d'aluminium correspondant à la formule C^3Al^4 en unissant directement les deux éléments à la température du four électrique ; le charbon est placé dans un tube de même substance contenant une nacelle remplie d'aluminium, le tube étant traversé par un courant d'hydrogène. On casse, après refroidissement, la matière obtenue qui se présente sous forme d'une masse compacte dont la cassure montre de beaux cristaux de teinte jaune mordoré et dont quelques-uns atteignent 5 à 6 millimètres de diamètre : leur densité est de 2,36 ; ils ont l'apparence hexagonale. On obtient ce même carbure en décomposant l'alumine par le carbure de calcium dans un four à arc ou, à 2125° seulement, en chauffant l'aluminium avec du chlorure de carbone dans le tube fermé ; la réaction est très vive.

D'après les expériences effectuées il semble qu'il y ait un point d inversion dans la réaction entre le carbone et l'aluminium par l'union pure et simple de ces deux éléments : à une certaine température, il y a formation de carbure d'aluminium tandis qu'à une température plus basse, c'est-à-dire en chauffant ce carbure dans le vide à une température beaucoup plus basse (540°) que celle correspondant à l'union des composants (900°), il se résout en ses éléments. La quantité de carbure obtenu paraît être maximum quand on chauffe à une température élevée et qu'on coule ensuite rapidement.

Chauffé à l'air le carbure d'aluminium se décompose suivant la formule :

$$C^3Al^4 + 12\,O = 2\,Al^2O^3 + 3\,CO^2.$$

Il présente un certain intérêt industriel par ce fait qu'au contact de l'eau il se décompose en méthane et alumine hydratée. On a en effet :

$$C^3Al^4 + 12\,H^2O = 3\,CH^4 + 4\,Al\,(OH)^3.$$

Les deux produits de la réaction sont aujourd'hui utilisés dans l'industrie chimique ; l'alumine a de nombreuses applications et le méthane sert, en particulier, dans la fabrication de l'acide cyanhydrique au four électrique.

La réduction de l'oxyde de cuivre CuO par le carbure d'aluminium à une température peu élevée donne du cuivre métallique et de l'alumine d'après l'équation :

$$C^3Al^4 + 12\,CuO = 12\,Cu + 2\,Al^2O^3 + 3\,CO^2 :$$

A la température du four électrique, on obtient un alliage de cuivre et d'aluminium ou *bronze d'aluminium*, conformément à la formule suivante :

$$C^3Al^4 + 3\,CuO = Cu,Al^4 + 3\,CO.$$

C'est le procédé Prings pour la fabrication électrothermique de cet alliage ; mais nous ne pensons pas qu'il ait été appliqué industriellement.

Carbure de zirconium. — Ce carbure est utilisé pour la fabrication de certaines lampes électriques à incandescence. On l'obtient au four électrique par la réduction de la zircone, ou oxyde de zirconium, à l'aide du charbon. Dans le procédé Bohm, spécialement destiné à la préparation des filaments de lampes, on part de l'hydrure de ce métal H^4Zr obtenu en réduisant l'oxyde par le magnésium dans un courant d'hydrure. L'hydrure est amené à l'état pâteux par mélange avec un liant organique à base de cellulose. On passe ensuite à la filière, on sèche et on fait traverser les filaments par un courant électrique intense qui les transforme en carbure. Les filaments ainsi fabriqués servent surtout pour les lampes à éclairage intense soit, de 80 à 100 bougies environ ; leur durée varie de 700 à 1 000 heures.

Carbure de titane. — Il s'obtient en chauffant au four électrique le métal lui-même en présence du charbon, ou en faisant réagir le carbure de calcium sur l'acide titanique. On l'utilise en Amérique comme électrode de lampe à arc sous forme de tiges cylindriques semblables à celles des charbons ordinaires ; les électrodes fabriquées de cette manière sont principalement destinées à fonctionner sur le courant alternatif, mais les lampes qui les utilisent ne renferment chacune qu'une seule électrode en carbure de titane placée verticalement ; deux autres électrodes de charbon convergent vers l'extrémité inférieure de la première et favorisent le rendement de l'arc. L'inconvénient de ces électrodes est leur prix élevé. De plus l'arc auquel elles donnent naissance n'est pas très stable et les vapeurs sont abondantes. Enfin les scories de carbure de titane sont difficilement fusibles et de plus, isolantes. Quand elle se forment à la pointe des électrodes elles s'opposent donc au fonctionnement régulier de l'arc et peuvent même provoquer son extinction. On obtient de meilleurs résultats en constituant l'anode par du cuivre.

Carbure de tungstène. — Le carbure de formule CTu^2 est très dur, car il raye le corindon ; le carbure CTu raye le quartz. Ce sont tous deux des composés assez stables et de densité élevée. On les obtient en soumettant à la chaleur du four électrique un mélange de charbon, de fer et d'acide tungstique. On isole, après refroidissement, le carbure par divers réactifs chimiques ; on obtient ainsi un corps se présentant sous forme de cristaux ou de poudre cristalline ayant une teinte gris de fer.

En raison de leur point de fusion élevé et de leur stabilité, les carbures de tungstène sont utilisés à l'état de *fonte de tungstène* pour la fabrication des tubes et creusets de certains fours électriques de laboratoire concurremment au graphite.

Carbure de vanadium. — Le composé CVa raye facilement le quartz. On le prépare en chauffant au four électrique un mélange de vanadium ou d'anhydride vanadique et de charbon. Sa densité est de 5,4. Il n'est guère attaqué à froid que par l'acide nitrique.

Carbure double de tungstène et de chrome. — C'est encore un puissant abrasif, car il raye le quartz et la topaze avec la plus grande facilité ; il produit même sur la surface bien polie d'un rubis très dur des stries profondes. Sa dureté n'est donc dépassée que par celles du carborundum, du borure de carbone et du diamant. Il est très stable, n'étant

Digitized by Google

attaqué ni par l'acide chlorhydrique, ni par l'acide sulfurique, ni par l'acide nitrique, ni même par l'acide fluorhydrique. Les alcalis additionnés des nitrates correspondants le décomposent par contre vivement. On l'obtient au four électrique en chauffant un mélange de sesquioxyde de chrome, d'acide tungstique et de charbon. Il correspond à la formule CTu^2, $3C^2Cr^3$.

Carbure d'uranium. — Le carbure d'uranium est utilisé comme catalyseur dans la fabrication de l'ammoniac synthétique par union directe de l'azote et de l'hydrogène à 700-800° à la pression de 200-250 atmosphères (procédé Haber et Rossignol).

II. — Borures métalliques.

On a obtenu au four électrique un assez grand nombre de borures parmi lesquels nous citerons ceux de fer, de nickel, de manganèse, de cobalt, de silicium, de tungstène, les borures alcalino-terreux, le borure de carbone. La plupart sont doués d'une dureté plus ou moins grande, qui permet de les utiliser comme abrasifs.

Borure de tungstène. — Il a pour formule Bo^2Tu et s'obtient en chauffant au four électrique ses deux éléments. Il a une apparence cristalline, des reflets métalliques et raye le rubis. Les acides dilués ou concentrés ne l'attaquent pas ; par contre, l'eau régale agit avec facilité.

Borures de silicium. — Il existe deux borures de silicium, Bo^3Si et Bo^6Si, qui prennent tous deux naissance par l'union des éléments à la température du four électrique. Ils rayent avec facilité les rubis les plus durs. Leur densité est voisine de 2,5. Ils sont conducteurs de l'électricité, ne s'oxydent que superficiellement par l'air et l'oxygène même à chaud, mais sont attaqués plus ou moins rapidement par l'acide nitrique concentré, les carbonates alcalins fondus et les mélanges de carbonates et de nitrates.

Borure alcalino-terreux. — Le *borure de calcium* raye le rubis. On l'obtient en fondant au four électrique un mélange de borate de calcium bien desséché, d'aluminium et de charbon dans les proportions suivantes :

Borate de calcium	1 000
Aluminium en copeaux	630
Charbon	200

L'aluminium réduit le borate, tandis que le charbon empêche la formation d'alumine. Après différents traitements, on obtient un produit pur se présentant sous forme d'une poudre noire et brillante.

Le *borure de strontium* raye facilement le cristal de roche. On l'obtient comme le précédent, en employant le borate de strontium. Sa densité est de 3,28, ce qui permet de l'obtenir avec une grande pureté.

Le *borure de baryum* est très dur, car il raye le rubis. Sa densité est encore plus élevée que celle du précédent, soit 4,36. Il présente les mêmes caractères physiques et chimiques que les borures de calcium et de strontium.

Borure de manganèse. — Il peut se préparer en chauffant un mélange d'acide borique et de carbure de manganèse. La réduction des oxydes de manganèse par le bore donne aussi des *fontes borées de manganèse* renfermant une forte proportion de ce corps, notamment les composés BMn et B^2Mn. Ces fontes, difficiles à obtenir en lingots, sont généralement préparées à l'état de poudres ; on les emploie en métallurgie et pour la fabrication de certains alliages complexes, notamment des bronzes et laitons au manganèse.

III. — Siliciures métalliques.

Le silicium forme avec la plupart des métaux des siliciures dont un certain nombre ont reçu des applications industrielles : tels sont en particulier les siliciures de cuivre ou *cupro-silicium*, les siliciures de fer ou *ferro-silicium*, le siliciures de manganèse ou *mangano-silicium*, les siliciures de calcium, les alliages de silicium et d'aluminium, etc. Suivant leurs propriétés on les emploie, soit directement comme alliages ayant des applications immédiates, soit comme agents d'affinage ou additions fixes en métallurgie, soit enfin pour provoquer des réactions particulières en vue de la préparation d'autres composés chimiques et métallurgiques.

Une application récente de certains siliciures est leur emploi dans la fabrication des filaments de lampes électriques. Dans ce but, un fil de charbon, servant de support, est immergé dans une solution de gomme qui contient en suspension du silicium et le ou les métaux devant former le siliciure. On fait sécher, puis on porte le filament à l'incandescence par voie électrothermique au sein d'un gaz inerte : le siliciure se forme et prend la place du carbone.

De même que pour les carbures et borures métalliques, nous ne nous occuperons ici que des siliciures ayant une utilisation industrielle.

Silico-calcium. — Ce composé a sa principale application dans la métallurgie qui utilise sa grande puissance réductrice à haute température et sa facilité de former, après oxydation, des scories facilement fusibles. Par le calcium qu'il renferme, il sert à éliminer le soufre et le phosphore des bains d'acier fondu, ce que ne fait pas l'aluminium. Il peut également remplacer ce métal pour empêcher la formation des soufflures dans les lingots ; le point de fusion des silicates calciques est en effet très inférieur à celui de l'alumine. On lui substitue parfois le *ferro-silico-calcium* préparé également au four électrique.

La préparation industrielle du silico-calcium s'effectue généralement d'une façon analogue à celle du carbure de calcium (p. 340). On réduit par le charbon un mélange de carbonate de chaux et de silice, ou encore la chaux par le silicium en solution dans les ferro-siliciums riches ; dans ce dernier cas, on ajoute 15 pour 100 de chlorure de calcium pour rendre le bain plus fluide. Mais le procédé qui donne les meilleurs résultats semble être celui basé sur la réduction de la silice par le carbure de calcium. Il est exploité par la Société d'électrochimie de Bozel (Savoie) et repose sur la réaction suivante

$$C^2Ca + 2\,SiO^2 + 2C = Si^2Ca + 4CO$$

Les proportions les plus satisfaisantes sont les suivantes :

Carbure de calcium	64 parties
Silice	120 Id.
Carbone	24 Id.

On évite ainsi la réduction des silicates de chaux par le charbon qui est toujours délicate. La seule difficulté tient à la fusibilité du carbure de calcium, mais elle est beaucoup moins grande que dans le procédé dit au fluorure. Ce dernier substitue au carbure de calcium du fluorure de cal-

Digitized by Google

cium, M. Frilley recommande, comme donnant de très bons résultats, le mélange suivant :

Silice	600 parties
Charbon	225 Id.
Fluorure de calcium	300 Id.

On obtient ainsi un bloc d'aspect métallique, bien cristallisé et ayant la composition suivante :

Silicium	15 pour 100
Calcium	83 Id.

Il renferme, comme principale impureté, environ 0,80 pour 100 de fer. Le seul inconvénient de cette méthode tient à la grande fusibilité du fluorure de calcium qui coule au fond de l'appareil ; même en effectuant la charge par couches alternées de silice et de fluorine, on peut difficilement obtenir un rendement satisfaisant au point de vue industriel.

Le siliciure de calcium industriel a un aspect métallique brillant et une couleur grise. Il dégage souvent une odeur désagréable d'hydrogène phosphoré gazeux. Malgré sa teneur élevée en calcium, il ne s'altère pas à l'air. Il est formé des deux siliciures Si^2Ca et Si^2Ca^3 ; aussi le considère-t-on comme une solution solide de ces siliciures. Il renferme généralement une petite quantité d'aluminium. On constate que la violence d'attaque avec crépitement, par l'acide chlorhydrique ou l'acide fluorhydrique, est d'autant plus vive que le siliciure renferme plus d'aluminium. On prépare du reste aussi au four électrique des alliages *silicium-calcium-aluminium*, à teneur variée en aluminium, et des alliages encore plus complexes ou *silico-aluminurés*. On emploie aussi l'alliage *silicium-calcium-magnésium* pour la réduction des oxydes de chrome et de tungstène en vue de l'isolement de ces métaux par la méthode silicothermique ; cet alliage permet d'obtenir une scorie plus fusible que l'alumine (méthode aluminothermique) et, par suite, un meilleur rassemblement des gouttes métalliques isolées.

Silico-aluminium. — Le silicium ne forme pas de siliciure avec l'aluminium ; il y a simplement mélange plus ou moins intime des deux éléments et, en général, l'étude micrographique des alliages silicium-aluminium montre des cristaux de silicium englobés par l'aluminium.

La plupart des silico-aluminiums renferment, comme impureté principale, du fer qui doit sans doute y exister à l'état de siliciure Si^2Fe. Entre 0 et 10 pour 100 de silicium, ils possèdent une couleur un peu plus grise que celle de l'aluminium, sont plus résistants et se travaillent bien. Entre 10 et 20 pour 100, l'alliage est brillant, cristallisé, plus fusible que l'alumiuium pur ; il peut se forger à chaud jusqu'à 15 pour 100 ; au delà, l'opération présente beaucoup de difficultés, le palier de travail étant extrêmement étroit. Entre 20 et 38 pour 100, l'alliage présente de grandes facettes cristallines ; il s'écrase facilement ; sa couleur est bleutée, un peu terne. A 38 pour 100 apparaissent les cristaux de silicium ; l'alliage s'écrase difficilement. Entre 40 et 55 pour 100, il est composé d'un magma de cristaux enchevêtrés. A partir de 55 pour 100 jusqu'à l'extrême limite de pureté, il a l'aspect bleuté du silicium fondu.

La densité, peu variable avec le pourcentage de silicium, est indiquée par les chiffres ci-dessous :

Silicium %.	Densité.	Silicium %.	Densité.
10	2,52	57	2,42
20	2,50	64	2,40
30	2,45	71	2,37
38	2,44	85,2	2,35
47,5	2,44	96,5	2,37

Comme on le voit, elle reste voisine de celle de l'aluminium.

Les alliages aluminium-silicium n'ont encore que des emplois assez limités par suite du peu de connaissances qu'on possède sur leurs propriétés mécaniques et métallurgiques. Ils paraissent cependant aptes à modifier d'une façon heureuse, et par simple incorporation, les qualités de certains aciers, bronzes et laitons. On les a proposés en outre pour la fabrication d'alliages légers et pour l'obtention rapide et facile du silicium riche à 99 pour 100. Il suffit en effet de traiter l'alliage à 96 pour 100 par l'acide chlorhydrique bouillant et par l'acide fluorhydrique pour enlever l'excès d'aluminium et la silice entraînés ; on a ainsi des quantités considérables et à bon compte de silicium beaucoup plus facilement que par les anciennes méthodes.

Dans la métallurgie ils sont surtout concurrencés par les *silico-calcium-aluminium*, les *ferro-silico-aluminium* et les *ferro-silico-manganèse* dont la préparation est moins compliquée et plus économique.

La réduction de la silice par l'aluminium au four électrique permet d'obtenir rapidement de grandes quantités d'alliages riches en silicium. C'est, en somme, de l'aluminothermie au four électrique, l'arc servant de cartouche d'allumage pour le mélange ; mais, tandis que la réduction par voie aluminothermique directe est assez difficile et exige des matières en poudre fine, parfaitement sèches et intimement mélangées, la préparation au four électrique est des plus simples ; elle permet d'employer du sable pur quelconque et des copeaux d'aluminium. Le seul inconvénient est l'introduction d'un peu de fer dans l'alliage.

Frilley est arrivé par ce procédé à obtenir des alliages contenant de 30 à 96 pour 100 de silicium. Pour les teneurs inférieures, le mieux est d'effectuer des fusions, au creuset, d'un mélange d'aluminium pur et d'alliage à 30 pour 100. Au delà de 30 pour 100 de silicium, teneur pour laquelle l'alliage fond à 900° environ, la fusion au creuset est difficile. Il en est de même de la fusion au four électrique à arc, d'un mélange d'aluminium et d'un alliage silicié d'aluminium ; elle est très difficile même sous une couche de cryolithe fondue ; la réaction est extrêmement violente, presque explosive et ne peut jamais s'effectuer sans une grosse perte de matières.

Pour l'obtention d'alliages ne renfermant pas plus de 5 pour 100 de silicium, on peut se contenter d'introduire de la silice dans un four à aluminium ordinaire (procédé Héroult). La silice est réduite en même temps que l'alumine et les deux éléments mis en liberté forment l'alliage désiré. Si l'on augmentait outre mesure la quantité de silice ajoutée dans le four, le bain s'épaissirait, la température s'élèverait et l'appareil fonctionnerait dans de très mauvaises conditions.

L'union directe de l'aluminium et du silicium fournit également des alliages bien fondus. Si l'on projette du silicium sur de l'aluminium fondu en ayant soin de fortement agiter pour renouveler les contacts et de donner un bon coup de feu, on obtient après refroidissement un alliage homogène. Le silicium se dissout très bien dans l'aluminium malgré la petite pellicule de silice qui se forme à la surface des grains lorsqu'ils tombent sur le métal en fusion ; l'aluminium réduit en effet la silice et met à nu le silicium, de sorte que le mélange des deux éléments s'effectue dans de bonnes conditions.

A l'aide d'un courant de 350 A sous 50 v environ, la fusion s'opère rapidement. Des courants trop intenses volatilisent en partie l'aluminium et occasionnent ainsi des pertes.

En projetant sur un bain d'aluminium fondu un mélange

Digitized by Google

de silice et de poudre d'aluminium, on arrive à d'assez bons résultats, mais il est difficile de dépasser ainsi des teneurs en silicium supérieures à 3 pour 100. La réduction des silicates, opérée dans de bonnes conditions, permet également d'obtenir des alliages de silicium et d'aluminium.

Plusieurs usines électrométallurgiques fabriquent spécialement du silico-aluminium en réduisant par le charbon la bauxite blanche siliceuse, additionnée ou non de quartzite.

La conduite de la fabrication est analogue à celle des ferro-siliciums à haute teneur. L'allure du four est extrêmement chaude : l'alliage est produit et accumulé sur la sole à une température bien supérieure à la limite de stabilité du carbure d'aluminium, de sorte que le composé formé résiste sans se déliter à l'action de l'air.

Silico-aluminures. — Le silicium et l'aluminium, incapables de se combiner à l'état d'alliage binaire, peuvent former des siliciures complexes renfermant à la fois l'aluminium et les éléments isolés au cours de la réaction en présence du silicium et de l'aluminium. On obtient ainsi des alliages (ternaires généralement) désignés sous le nom générique de silico-aluminures qui indique leur origine. On désigne du reste sous cette dénomination aussi bien les alliages dans lesquels il existe effectivement des siliciures doubles ou triples des différents constituants que ceux dans lesquels le silicium existe en tout ou en partie à l'état d'élément non combiné.

Ces alliages peuvent être obtenus principalement par les trois méthodes suivantes :

a) En fondant ensemble les divers éléments lorsque cela est possible, de façon à obtenir un lingot homogène ;

b) En réduisant les silicates ou des mélanges de silice et d'oxydes par voie aluminothermique, de manière que le culot fondu renferme toujours un excès d'aluminium ;

c) En faisant réagir l'aluminium sur le fluorure double de silicium et de potassium additionné des métaux ou des oxydes, sulfures, etc. des métaux à introduire dans l'alliage à côté de l'aluminium et du silicium.

La plupart des alliages ainsi obtenus ont des propriétés générales qui permettent de les classer à côté des siliciures ; ils présentent comme eux l'éclat métallique, sont plus ou moins denses et, à l'état cristallisé, sont durs, cassants et à formes très nettes.

Parmi ces composés, nous citerons principalement les alliages *silicium-aluminium-magnésium*, le *silico-calcium-aluminium*, le *ferro-silico-aluminium*, le *silico-mangano-aluminium*, etc. Il existe également des *carbo-siliciures* et des *carbo-azotures d'aluminium* plus ou moins complexes et plus ou moins définis ; ils forment la liaison entre les carbures, les siliciures et les azotures d'aluminium simples.

Cupro-silicium. Bronze siliceux. — On connaît actuellement cinq siliciures de cuivre définis : $Si\,Cu^4$, $Si\,Cu$, $Si\,Cu^2$, $Si^3\,Cu^2$ et $Si^4\,Cu^{10}$; ils forment par leur association les alliages industriels désignés sous les noms de *cupro-silicium*, *cuivre silicié* ou *silico-cuivre*. On peut les obtenir de différentes façons au four électrique :

La méthode la plus courante est celle basée sur la réduction de la silice par le charbon en présence du cuivre. Elle est analogue à celle de la préparation du *ferro-silicium* ; on substitue simplement le cuivre au fer. Comme charbon, on utilise souvent le charbon de bois à cause de sa pureté. Comme silice, on peut se servir de quartz pur (cristal de roche), de sable blanc ou de grès. Par ce procédé, il est facile de produire des alliages à teneurs variées en silicium notamment à 20, 40, 50, 70 et 90 pour 100 Si. On utilise ensuite ces alliages types pour la préparation des autres alliages ; il suffit pour cela de les mélanger en proportions convenables, soit entre eux, soit avec du cuivre pur.

Cette méthode de fabrication des alliages types par réduction de la silice sur un bain de cuivre ne présente aucune difficulté pratique ; une tension de 35 à 40 v paraît convenable. Le rendement est d'environ 1 kg de silicium par cheval jour pour les teneurs de 20 à 30 pour 100 de silicium ; il tombe rapidement quand cette teneur augmente et atteint à peine 500 g pour les teneurs élevées en silicium. Ces alliages sont facilement fusibles au four électrique. D'après Frilley, la refonte par mélange d'alliages à teneurs différentes ou d'un alliage avec du cuivre est un peu plus délicate. Si l'on veut éviter les pertes par volatilisation du cuivre, il ne faut pas dépasser 25 v et avoir soin de travailler sur un four chaud et le plus rapidement possible ; l'addition d'une petite quantité de fluorine comme fondant facilite l'opération sans présenter d'inconvénients sérieux.

La préparation du cupro-silicium par union directe des éléments, cuivre et silicium, est un peu plus longue, mais elle permet d'obtenir des alliages très purs et parfaitement homogènes ; en variant les proportions des éléments dans le mélange initial, il est aussi facile de préparer toute une gamme d'alliages avec teneurs variées en cuivre et en silicium.

Les propriétés des alliages de cuivre et de silicium ont été étudiées par de nombreux savants, en particulier par Hampe, Portevin, Lebeau, Gin, Frilley, Baraduc-Muller. Jusqu'à 8 pour 100 de silicium, ils ont une cassure jaunâtre et grenue. De 8 à 30 pour 100 de silicium, la cassure est brillante, blanc d'argent ; on trouve parfois dans les culots de petites géodes tapissées de cristaux rougeâtres. A l'air humide, la cassure s'altère rapidement et prend une teinte de couleur uniforme, rose d'abord, puis rougeâtre. De 30 à 40 pour 100, la cassure prend un aspect grenu et cristallin. A partir de 40 pour 100 de silicium, apparaissent les cristaux caractéristiques du silicium. Le même aspect subsiste jusqu'à 60 pour 100 et, à partir de cette teneur, la masse, de couleur gris d'acier, ressemble à un conglomérat très serré et homogène de cristaux enchevêtrés de silicium. Voici la densité de quelques-uns de ces alliages :

Si %.	Densité.	Si %.	Densité.
9,59	8,03	50,40	3,90
19,98	6,90	69,60	3,00
34,40	5,67	90,50	2,54

La courbe des densités montre trois points d'inflexion à 18 pour 100, 22,50 pour 100 et 40 pour 100 de silicium qui correspondent aux siliciures $SiCu^2$, Si^2Cu^3 et Si^3Cu^2.

Les types de cupro-siliciums les plus employés dans l'industrie sont ceux à 10, 15, 30, 35 et 50 pour 100 de silicium. Une de leurs principales applications est le raffinage de certains alliages de cuivre : bronzes, laitons, etc. Le silicium qu'ils renferment sert à réduire les oxydes du bain métallique fondu qui se forment toujours lors du chauffage et qui se dissolvent dans le métal en modifiant ses propriétés. Les alliages riches en silicium servent aussi à la fabrication des bronzes et cuivres siliceux renfermant de 0,2 à 3,5 pour 100 de silicium utilisés comme fils télégraphiques et téléphoniques. Le silicium a, en effet, pour résultat, dans ces alliages, d'accroître la résistance mécanique sans diminuer sensiblement la conductibilité électrique ; on les désigne parfois sous la désignation de

Digitized by Google

bronzes siliceux à haute conductibilité. Ils ne doivent cependant pas renfermer une trop forte proportion de silicium, sous peine de voir leur conductibilité sensiblement diminuée.

Certains cupro-siliciums sont aussi utilisés dans la fabrication des câbles, des rivets, des plaques de foyers de locomotives.

Nickelo-silicium. — Les alliages de nickel et de silicium sont formés soit de siliciures de nickel, soit de silicium libre juxtaposé à un siliciure défini. Les siliciures définis signalés jusqu'ici sont : $SiNi^4$, $SiNi^3$, $SiNi^2$, Si^2Ni^3, SiNi et Si^3Ni^2 (1).

La fabrication du nickelo-silicium au four électrique ne présente aucune difficulté : on peut mettre à profit, soit la réduction par le charbon de bois d'un mélange d'oxyde de nickel et de silice, soit la réduction de l'oxyde de nickel seul par le carborundum. Pour éviter, surtout pour les alliages à faible teneur en silicium, la présence d'un trop grand excès de carbone, on peut effectuer la réduction du mélange dans un four à deux électrodes et sur sole en dolomie; on amorce la réaction sur un bain de nickel fondu.

Les produits ainsi obtenus, qui peuvent renfermer des quantités variables de silicium (10, 20, 40, 70 pour 100), servent ensuite à la préparation d'alliages renfermant une proportion quelconque de silicium, soit de 3,5 à 70 pour 100 dans le cas envisagé; on opère par fusion, soit de ces composés entre eux, soit d'un ou plusieurs siliciures avec du nickel pur.

Les nickelo-siliciums renfermant au-dessus de 5 pour 100 de silicium ont une teinte gris foncé; ils fondent facilement, sont très durs, assez fragiles et rappellent les propriétés d'un acier à 1,4 pour 100 de carbone. De 5 à 20 pour 100 de silicium, ils sont blancs et brillants. De 20 à 35 pour 100 de silicium, ils sont moins brillants et éclatent sous le marteau; à 32 pour 100 Si, on y rencontre de longues aiguilles brillantes, souples et légèrement jaunâtres. De 35 à 40 pour 100 de silicium, ils montrent une cassure terne et, à partir de 50 pour 100 Si, l'alliage a l'aspect du silicium fondu. Voici quelques chiffres de densités, d'après M. Frilley.

Si %.	Densité.	Si %.	Densité.
3,50	8,15	44,70	4,60
14,68	7,37	57,34	3,93
32,06	5,73	66,82	3,50

Au point de vue du magnétisme, les alliages renfermant de 4,7 à 10 pour 100 de silicium perdent leurs propriétés magnétiques, lorsque la température croit. A la température ordinaire, les alliages pauvres en silicium sont magnétiques, comme le nickel. Cette propriété diminue à partir de 15 pour 100 de silicium et disparaît complètement entre 20 et 30 pour 100 Si. A 1000°, les alliages renfermant de 14,8 à 20,2 pour 100 de silicium sont encore faiblement magnétiques.

Le principal emploi du nickelo-silicium est la fabrication des *aciers spéciaux au nickel et au silicium*. Au point de vue industriel, le silicium relève les points de transformation des aciers au nickel; il modifie, par conséquent, les pourcentages de nickel pour lesquels se font les passages d'une structure à l'autre. En outre, l'influence du silicium dans un acier au nickel se traduit par une action plus marquée de la trempe, mais cette action est au détriment de la résistance au choc qui est sensiblement nulle dans le sens perpendiculaire au laminage. L. Guillet conseille de ne pas dépasser 2 pour 100 dans les quantités de silicium à ajouter aux aciers au nickel.

Le *ferro-silico-nickel* est parfois employé concurremment au *nickelo-silicium* pour la fabrication des aciers spéciaux.

Silico-chrome. — Les alliages de chrome et de silicium sont formés de siliciures définis de chrome dont les quatre types connus sont $SiCr^3$, $SiCr^2$, Si^2Cr^3 et Si^2Cr. On les prépare au four électrique par la réduction, à l'aide du charbon, d'un mélange d'oxyde de chrome et de silice. Cette préparation ne présente pas de difficultés, tous les siliciures de chrome étant plus fusibles que le silicium et le chrome purs; ils peuvent, pour la plupart, être facilement coulés.

Ces alliages renferment toujours de 0,5 à 1,2 pour 100 de fer provenant des matières premières et aussi une proportion de carbone d'autant plus élevée que leur teneur en silicium est faible. Dès qu'on atteint 15 à 18 pour 100 de silicium, l'alliage ne contient plus que 0,3 à 0,5 pour 100 de carbone; l'alliage à 10 pour 100 Si en renferme 1,4 pour 100 après affinage. Cet affinage peut être réalisé à l'aide d'un four à deux électrodes verticales sur sole en dolomie en présence d'un grand excès de silice, puis l'alliage est refondu une seconde fois en présence d'un excès de chrome.

Les siliciures de chrome sont assez durs et peuvent à ce titre être employés comme abrasifs. C'est ainsi que le composé $SiCr^2$ raye le corindon; le siliciure Si^2Cr^3 raye seulement le verre et a, par conséquent, à peu près la dureté du quartz. La *silichromite* possède également une grande dureté.

En métallurgie, on a proposé et utilisé les siliciures de chrome pour l'obtention du chrome métallique par le chauffage, au four électrique, de ces composés en présence du sesquioxyde de chrome ou du chromate de calcium.

Jusqu'à 10 pour 100 environ de silicium, les silico-chrome ont une teinte blanc mat, sont durs et très compacts; on y trouve des géodes tapissées de longues aiguilles cristallines. De 10 à 25 pour 100 Si, ils sont gris terne, se désagrègent et n'ont pas de cristallisation marquée. De 25 à 70 pour 100 Si, ils sont bien cristallisés avec ou sans aiguilles, parfois avec des prismes très nets d'apparence orthorhombique. Au delà de 50 pour 100, on n'a que des aiguilles donnant à toute la masse un aspect soyeux caractéristique. Au delà de 70 pour 100 Si, l'alliage a l'aspect du silicium fondu mais sans cristaux apparents de ce dernier, comme cela arrive souvent chez les ferro-siliciums à haute teneur. La densité de ces alliages varie de 2,40 (silicium pur) à 6,60 (chrome pur). Pour les alliages intermédiaires, on a les chiffres suivants :

Silicium pour 100.	Densité.
70,10	3,10
52,40	4,70
35,00	5,38
23,21	5,62
17,04	6,30
10,34	6,50

L'examen de la courbe des densités montre trois points d'inflexion qui correspondent aux trois siliciures $Si\,Cr^2$ (21 pour 100 Si), Si Cr (35 pour 100 Si) et Si^2Cr (52 pour 100 Si); le composé Si Cr n'a cependant pas encore été indiqué.

Nous rappellerons qu'il existe aussi du *silico-carbure de chrome*, correspondant à la formule $SiCr^2$, C^2Cr^2 et des *ferro-silico-chrome*; ils sont employés en métallurgie.

(1) D'après Frilley, les siliciures Ni^4Si et Ni^3Si ne seraient que des mélanges 2 (Ni + Ni^2Si) et (Ni + Ni^2Si). Les recherches par voie chimique montrent que les deux composés $SiNi^2$ et SiNi représententent les deux limites de siliciuration du nickel.

Digitized by Google

Silico-manganèse. — Le silico-manganèse ou *manganosilicium* est surtout utilisé en métallurgie concurremment au *silico-spiegel* (alliage silicium-fer-manganèse), sur lequel il a l'avantage de ne pas renfermer de fer ou seulement des traces de ce métal.

L'action du silicium et du manganèse sur la transformation du carbone en graphite dans les fontes présente, en effet, des caractères particuliers : le manganèse ne réagit sur le carbone que par l'intermédiaire du silicium qu'il protège de l'oxydation, sans doute parce qu'il se combine avec lui à l'état de siliciure de manganèse, plus difficilement oxydable que le silicium et le manganèse séparément. Il en résulte qu'une fonte riche en siliciure de manganèse peut être refondue plusieurs fois sans risquer de devenir blanche (1), comme le devient une autre fonte qui possède la même teneur en silicium, mais plus pauvre en manganèse. C'est la raison pour laquelle des fontes pauvres en siliciure de manganèse sont inutilisables par le recuit : ce recuit les adoucit, mais ne leur donne pas une ténacité suffisante.

Le silico-manganèse est employé en aciérie pour la fabrication des *aciers spéciaux au silicium et au manganèse*, utilisés pour les engrenages et les ressorts.

Nous donnons ci-dessous la composition de plusieurs silico-manganèses industriels préparés au four électrique et ne renfermant pas de fer :

	N° 1.	N° 2.	N° 3.
Silicium.....	25 %	24,25 %	24,70 %
Manganèse.....	75	73,50	74,20
Carbone.....	0,4	0,05	0,30

L'alliage n° 1 est fabriqué par la « Néo-métallurgie », de Rochefort-sur-Mayenne (Mayenne) ; les alliages n° 2 et n° 3 proviennent des usines électrométallurgiques « Blackwell and Son », de Liverpool (Angleterre).

On connait cinq principaux siliciures de manganèse : $SiMn^2$, Si^2Mn^3, SiMn, Si^2Mn et $SiMn^3$; ce dernier n'a jamais été indiqué d'une façon très précise, mais il présente une concordance remarquable avec les travaux de Dœrinckel et Baraduc-Muller.

La fabrication industrielle du silico-manganèse peut s'effectuer au four électrique par des méthodes différentes :

1° Par la réduction du silicate de manganèse naturel ou rhodonite ;

2° Par la réduction des minerais oxydés de manganèse additionnés de silice ;

3° Par la réduction simultanée de minerais silicatés et de minerais oxydés.

La production d'une tonne de silico-manganèse à l'aide de la rhodonite au four électrique exige pratiquement les quantités suivantes de matières premières :

Rhodonite à 38 pour 100 de manganèse..	2 900 kg
Coke de réduction.....	420
Electrodes.....	60

La dépense d'énergie électrique est de 7 100 kw-h environ. La scorie peut être utilisée pour la fabrication du *ferro-silicium*.

Ce procédé ne permet pas la préparation d'alliages exempts de fer et le composé obtenu dans ces conditions, formé en grande partie du constituant $0,1\ Si\ Fe^2 + 2,7\ Si\ Mn^2$, se rapproche plus du *silico-spiegel* que du silico-manganèse pur. Par contre, la réduction électrothermique de l'oxyde de manganèse donne des alliages faciles à obtenir purs. Si le minerai est siliceux, on peut se dispenser d'addition de silice et le réduire directement par le charbon, mais, en général, on opère sur un mélange de bioxyde, de silice et de charbon. Dans les deux cas on a la réaction suivante :

$$2\ Mn\ O^2 + Si\ O^2 + 6\ C = Si\ Mn^2 + 6\ CO.$$

Lorsqu'on n'envisage pas une marche continue du four, on peut opérer comme suit :

Le mélange d'oxyde de manganèse et de charbon est d'abord introduit dans le four, puis aussitôt celui-ci amorcé, on recouvre complètement l'oxyde du mélange de silice et de charbon. En opérant ainsi, les pertes en manganèse sont très minimes et la marche de l'appareil, avec une tension de 35 v environ, est régulière et facile. On peut préparer ainsi du silico-manganèse à teneurs variées en silicium, notamment à 12, 33, 45 et 80 pour 100 de silicium qu'on peut ensuite refondre au four électrique, soit entre eux, soit en présence de manganèse pur.

L'emploi d'un mélange de bioxyde et de silicate de manganèse (pyrolusite $Mn\ O^2$ et rhodonite $Si\ O^3\ Mn$) présente l'avantage de mieux uniformiser la composition du lit de fusion par rapport à la dose de silice. Les bioxydes contiennent en effet généralement peu de silice tandis qu'au contraire le pourcentage de cette dernière dans la rhodonite est trop forte pour la fabrication du silico-manganèse à 20 pour 100 de silicium, qui est l'un des plus employés industriellement. On a la réaction

$$Si\ O^3\ Mn + Mn\ O^2 + 5C = Si\ Mn^2 + 5\ CO.$$

La production d'une tonne de silico-manganèse d'après cette méthode nécessite

Minerai bioxydé (pyrolusite à 50 % Mn.	1 000 kg
Silicate (rhodonite à 38 % Mn.....	1 000
Coke de réduction.....	625
Electrodes.....	65
Energie électrique.....	6 200 kw-h

L'alliage obtenu dans ces conditions renferme environ 75 pour 100 de manganèse et 25 pour 100 de silicium, plus un peu de carbone et de fer.

Nous ajouterons que par le procédé de Baraduc-Muller on peut, au besoin, se dispenser de l'emploi du four électrique, en faisant agir le carborundum sur la pyrolusite d'après la réaction

$$Mn\ O^2 + 2\ Si\ C = Si^2Mn + 2\ CO.$$

Cette réaction se produit à la température de 1 350° environ.

Les alliages renfermant de 2 à 10 pour 100 de silicium sont gris, assez brillants ; à 8 pour 100, Si, on voit apparaître dans la masse des cristaux prismatiques gris d'acier. Entre 10 et 30 pour 100 de silicium, l'alliage est blanc, brillant et renferme de longs enchevêtrements de cristaux. Entre 30 et 45 pour 100 de silicium, on a des alliages gris terne et se réduisant aisément en poudre. Entre 45 et 50 pour 100 de silicium, l'alliage est assez brillant et présente à peu près l'aspect du ferro-silicium à 50 pour 100. Enfin, à partir de 50 pour 100 de silicium, on voit apparaître des cristaux de silicium qui augmentent progressivement jusqu'aux teneurs les plus élevées qui ont l'aspect du silicium fondu.

(1) L. Baraduc-Muller. *Siliciures métalliques* (thèse, Paris, 1910) et Wagner, Fisher et Gautier. *Traité de chimie industrielle*, t. I, p. 258. 1901.

Digitized by Google

Tous ces alliages se cassent et se brisent facilement. On observe les densités suivantes, d'après Frilley.

Silicium pour 100.	Densité.
8,88	6,17
13,60	5,90
23,18	5,75
45,28	4,65
59,68	3,63
82,70	2,70

Les densités du manganèse et du silicium purs sont respectivement de 7,4 et de 2,4.

Silico-mangano-aluminium. — Cet alliage est très couramment employé aujourd'hui dans les grandes usines métallurgiques pour la fabrication de certains aciers durs et résistants tels que le métal à canons, pour les blindages et les projectiles. Ajouté à l'acier, il le désoxyde complètement; il se forme un polysilicate de fer, manganèse, aluminium et silicium très fusible. Comme ce silicate prend naissance dans le métal lui-même, au fur et à mesure de la réaction, il entraîne avec lui les oxydes de fer, de chaux et la silice retenus dans le métal. La scorie formée, très fluide et très légère, monte rapidement à la surface du bain.

Cet alliage est utilisé aussi dans la fabrication de l'acier moulé, c'est-à-dire de l'acier coulé directement dans des formes de sable et qui doit être très dense pour que les pièces offrent de la sécurité au point de vue de leur résistance.

Un alliage de ce genre, préparé aux usines électrométallurgiques de Rochefort-sur-Mayenne et destiné à la fabrication des aciers extra-doux, a donné à l'analyse la composition suivante

Silicium	35	pour 100
Aluminium	20	Id.
Manganèse	45	Id.
Carbone	0,2	Id.

Il peut être préparé de différentes façons, notamment en coulant ensemble le ferro-silicium et le ferro-manganèse préparés séparément et en les additionnant d'aluminium fondu (procédé indirect). On peut aussi opérer par réduction des oxydes en présence de l'aluminium (procédé direct). Une méthode originale est celle qui dispense de l'emploi du four électrique et utilise l'action du carborundum (siliciure de carbone) sur un mélange de bioxyde de manganèse et d'alumine. Certains de ces alliages renferment une proportion plus ou moins grande de fer.

Siliciure de titane. — A la température du four électrique, le silicium s'unit au titane pour former un siliciure bien cristallisé. On l'obtient également en faisant agir le silicium chauffé à 1 400° sur du tétrachlorure de titane. Les scories de fabrication du ferro-titane, qui contiennent jusqu'à 30 pour 100 d'acide titanique, sont employées pour la fabrication du *silico-titanure de fer* dont les applications sont d'ailleurs peu nombreuses.

Les siliciures de titane définis sont $Si\,Ti^2$ et $Si^2\,Ti$. D'après Moissan (1), leur dureté serait aussi grande que celle du diamant; aussi sont-ils utilisés pour la taille et le polissage des pierres précieuses (1).

Siliciure de tungstène. — La fabrication au four électrique des alliages siliciés de tungstène exempts de fer est très difficile. Frilley la considère même comme pratiquement impossible. Il est facile par contre de préparer du *ferro-silico-tungstène*.

Trois siliciures définis de tungstène ont été signalés: Si^3Tu^2 (Moissan et Vigouroux), Si^2Tu (Defacqz), et Si^3Tu (Frilley). On obtient du silico-tungstène industriel par différents procédés. Un des plus employés consiste dans la réduction de l'acide tungstique par le charbon en présence de la silice. On a l'équation suivante :

$$2\,Tu\,O^3 + 3\,SiO^2 + 12\,C = Si^3Tu^2 + 12\,CO.$$

La réduction de l'acide tungstique au four électrique par du *silico-aluminium* (v. p. 347) à 94 pour 100 de silicium donne un alliage ne contenant que peu de fer et répondant à la composition suivante:

Silicium	11,18	pour 100
Tungstène	68,20	Id.
Aluminium	18,25	Id.
Fer	1,15	Id.

Le pourcentage élevé d'aluminium le fait considérer plus comme un *silico-aluminure de tungstène* que comme un alliage binaire de silicium et de tungstène. L'inconvénient de ce procédé est d'entraîner des pertes assez importantes de tungstène.

En métallurgie, on utilise le siliciure de tungstène pour la préparation électrothermique du tungstène à l'aide du tungstate de chaux en présence de la chaux, d'après la réaction suivante :

$$Si^3\,Tu^2 + 2\,TuO^4Ca + CaO = 4\,Tu + 3\,SiO^3Ca.$$

Siliciures doubles. — On connaît des siliciures doubles utilisés dans l'industrie et doués de propriétés intéressantes. Nous signalerons le *siliciure double de fer et de chrome* qu'on emploie parfois pour la préparation du ferro-chrome: le procédé consiste à affiner ce siliciure double en présence de la *chromite* ou du chromate de calcium. Le *siliciure double de fer et de vanadium* a également été utilisé pour la préparation du ferro-vanadium en faisant agir le tétrafluorure de vanadium sur ce siliciure double; la présence d'un peu de fer dans le mélange initial abaisse le point de fusion de l'alliage obtenu.

Ces deux procédés donnent des ferros assez purs, mais ils présentent certaines difficultés pratiques et sont, en outre, assez coûteux. Aussi ne sont-ils pas utilisés d'une façon courante.

Le *siliciure de manganèse et d'aluminium*, certains *silico-aluminures*, le *siliciure de fer et de manganèse* ou *silico-spiegel*, sont également des siliciures doubles.

Jean Escard,
Ingénieur civil, lauréat de l'Institut,

(1) H. Moissan. *Traité de chimie minérale*, t. II, p. 529, Paris Masson édit. 1904.

(1) G. Gin. *Comptes rendus du Congrès international d'électricité de Marseille*, VIe section, p. 189. Paris, Gauthier-Villars. 1909.

Digitized by Google

Note sur les essais et mesures relatifs aux lignes électriques

Sous ce titre était publiée, dans le numéro du 19 octobre 1918, t. III, p. 563-565, une note de M. L. Puget, ingénieur des Télégraphes, sur un procédé simple et rapide de détermination des défauts des lignes. M. L. Mouchard, directeur de la Compagnie du Gaz et des Eaux de Tunis, autrefois ingénieur des Télégraphes, nous adresse à propos de cette note la remarque suivante où il indique un dispositif simple permettant d'éliminer la quantité ε que néglige M. Puget.

I. — Le procédé indiqué par M. L. Puget est évidemment simple et ingénieux, mais, tel qu'il est décrit, il est entaché d'une erreur systématique que l'auteur désigne par ε, et la nécessité de s'assurer qu'elle est négligeable enlève un peu de cette simplicité.

Quant à l'emploi des deux appareils mesurant, l'un le courant total, l'autre, celui de l'une des branches, il apporte une grande complication dans les mesures et les calculs.

Il y a, me semble-t-il, une manière beaucoup plus simple d'éliminer toute erreur systématique : c'est de placer sur la branche où ne se trouve pas le milliampèremètre A (fig. 1) une résistance fixe R_A égale à la résistance g de cet appareil.

Dans ces conditions, l'inversion des deux branches

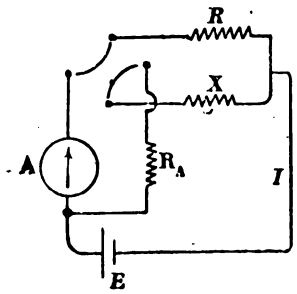


Fig. 1.

n'introduit aucune perturbation dans la résistance de chacune d'elles, l'intensité totale est constante et le rapport des résistances des deux branches est exactement l'inverse du rapport des intensités.

En effet, on a évidemment, E désignant la force électromotrice de la pile et T sa résistance :

$$I = \frac{E}{T + \dfrac{(g+R)(g+X)}{2g+R+X}},$$

quelle que soit la position de l'inverseur; donc $\dfrac{X+g}{R+g} = \dfrac{i_1}{i_2}$ en supposant bien entendu que E n'ait pas varié, ce qui est permis puisque la résistance du circuit ne change pas; on peut d'ailleurs, pour s'en assurer, faire une série d'inversions et prendre des moyennes, s'il y a de légères variations.

La somme $R + g$ étant déterminée une fois pour toutes, il n'est pas très compliqué de retrancher g du résultat :

$$X + g = (R + g)\,\frac{i_1}{i_2}.\ (1)$$

II. — Je n'ai pas eu encore l'occasion de mettre en pratique ce dispositif, — le défaut qui m'a amené à l'étudier dernièrement ayant 200 000 ohms! — mais je construis un appareil sommaire avec un commutateur pour prendre au besoin la résistance des trois combinaisons de mon milliampèremètre (10, 100 et 1 000 milliampères).

Cette méthode peut être appliquée par des personnes peu au courant des mesures électriques et donner, même dans ce cas, des indications précieuses, mais elle ne me paraît pas pouvoir prétendre à la précision des méthodes de réduction à zéro : pont de Wheatstone et boucles de Murray et de Varley.

L. Mouchard,
Directeur de la Compagnie du Gaz et des Eaux de Tunis.

(1) Le maximum de précision étant pour $X = R$, on serait ainsi conduit à constituer R par une caisse de résistances de manière à avoir $i_1 = i_2$; mais alors on est conduit tout de suite à remplacer le milliampèremètre par un galvanomètre différentiel.

Digitized by Google

Revues, analyses et informations

Les projets de création de très grands réseaux de distribution d'énergie électrique en Allemagne, Hollande et Suède.

On sait que le prix élevé des combustibles a conduit à envisager la construction d'énormes usines de production d'énergie électrique, de « supercentrales », ainsi qu'on les appelle, et la création de vastes réseaux de distribution ayant pour mission de desservir les usines qui jusqu'ici produisent elles-mêmes la force motrice qui leur est nécessaire. Cette centralisation de la production ne peut manquer en effet de relever le rendement des combustibles en énergie mécanique tandis que la création de grands réseaux permettrait une meilleure utilisation de la force motrice hydraulique.

Une lettre récente du Ministre du Blocus et des Régions libérées adressée au Ministre des Travaux publics et des Transports, donne quelques renseignements intéressants sur la manière dont la question est envisagée en Allemagne en Hollande et en Suède, nous reproduisons ci-dessous cette lettre, que nous communique le Syndicat professionnel des Industries électriques.

« Notre ministre à la Haye m'adresse quelques notes sur l'énergie électrique en Allemagne, en Hollande et en Suède élaborées d'après différentes revues techniques et articles de journaux de ces pays.

» Il ressort de l'ensemble de ces documents que, suivant le technicien M. Ascheff, en ce qui concerne l'Allemagne et particulièrement la Prusse, le gouvernement réaliserait une grande économie de machines électriques s'il prenait en mains le monopole de la production et de la distribution de l'énergie électrique à la population. L'Etat, pour atteindre ce but, procéderait soit par la suppression totale des entreprises intermédiaires déjà existantes, en les indemnisant, soit en se servant au contraire, pour la distribution, de plus grandes centrales, et en supprimant les moins importantes.

» Dans le même ordre d'idées la « Frankfurter Zeitung » parle d'un projet de construction d'une centrale hydraulique sur le Danube, à Wollsse, à 15 km en amont de l'embouchure de l'Ems, et au nord-ouest de Mitterkirchen; à noter justement que cette dernière centrale sera exploitée par Siemens Schükert et qu'elle comprendrait 17 turbines d'une puissance de 69 000 à 166 000 ch pouvant envoyer l'énergie jusqu'à Vienne. Cette même firme a du reste présenté un autre projet en collaboration avec l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft, relatif à la construction d'un barrage dans le cours de la Saale près Ziegenrück (Saxe) qui avait reçu l approbation du gouvernement et devait être mis à exécution d'après les ordres de ce dernier.

» La même feuille allemande mentionne un autre projet de semblable utilisation de la force motrice hydraulique à propos du Lech supérieur, en Bavière.

» Par contre, une revue technique signale en Brandebourg et en Saxe (centrale électrique Erich, raccordée à Sudharz) un arrêt momentané de production.

» Mais l'une des plus puissantes créations dans ce domaine est sans contredit la ligne projetée qui doit relier la centrale d'Offenbach à la mine de lignite de Dettingen, sur 25 km de long, et formera une intercommunication profitable aux deux villes d'abord, et capable ensuite d'alimenter toutes les régions, de Brême jusqu'en Suisse. Cela constituera un véritable réseau dont les usines sont déjà ou seront à Main-Weser, en Hesse, à Edertal, à Mannheim, Womburg, à la Murg et aux Bayerwerke.

» De son côté, le « Rheinisch Westralische Zeitung » préconise l'emploi de l'électricité pour les travaux agricoles et l'emploi des instruments de levage et de charrues électriques.

» En Hollande également, il ressort bien d'après ce qu'écrit dans la revue « L'Ingénieur » le baron von Itteremm que l'électrification générale par l'Etat serait envisagée et considérée comme devant donner un meilleur rendement à meilleures conditions, par l'établissement d'un réseau de 100 000 v comprenant différentes supercentrales placées à proximité de centres industriels. A la base se trouve toujours le principe de suppression des centrales existantes pour donner le monopole à l'Etat.

» L'auteur indique alors quels devraient être les points d'aboutissement de ce réseau d'abord dans la région minière du Lombarg puis à Amsterdam (où va se créer d'ailleurs une industrie de l'acier qui doit retenir notre attention) et à Rotterdam, enfin dans la région de l'Yssel non loin des établissements de Trente et de Deventer, chaque centrale comprenant 3 groupes de 25 000 kw.

» L'Etat se faisant ainsi producteur de courant vend aux entreprises provinciales du courant à prix modéré que celles-ci distribuent aux agglomérations urbaines ou communales dans des conditions abordables parce que le prix initial de production est très faible. Mais ce résultat ne peut être atteint d'autre part qu'avec cette tension de 100 000 v dont seul l'Etat peut assumer la production et l'entretien, ce qui est nécessaire à cette électrification centralisée. Dans son projet l'écrivain hollandais prévoit justement la remise de cette centralisation entre les mains d'un Comité d'électricité composé de départements techniques et technico-économiques qui détermineraient les conditions d'établissement des canalisations aériennes, des câbles, suivant une loi promulguée à cet effet.

» Quant à la Suède, la « Norddeutsche Allgemeine Zeitung » explique que la pénurie des combustibles a conduit le gouvernement vers un projet d'électrification des chemins de fer, projet d'autant plus facile à réaliser que ce pays possède de nombreuses chutes d'eau.

» Avec la suppression des approvisionnements de charbons étrangers l'intensification de trafic sur les voies ferrées sera un avantage qui, d'après la feuille allemande, est de nature à compenser la vulnérabilité reprochée aux chemins de fer électriques. Ce réseau demanderait 10 ans pour la mise en marche, l'Etat suédois possédant déjà des centrales hydrauliques de 22 500 ch.

» En résumé, il apparaît donc bien que, suivant les indications diverses, la question d'électrification par l'Etat en Allemagne, en Hollande, en Suède, soit sérieusement étudiée dans ces différents pays, et que presque toujours l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft et son associé Siemens-Schuckert sont à l'origine de ces exploitations, qui visent aussi la Suisse.

» Nous devons donc ne pas perdre de vue les efforts de l'Allemagne et de ses voisins dans ce domaine; ils visent

Digitized by Google

toujours au développement des puissantes sociétés allemandes contre lesquelles nous ne devons pas abandonner la lutte. »

Une dynamo à courant continu fonctionnant à tension constante sous des vitesses variables (1).

La solution proposée par l'auteur présente les avantages suivants :

Auto-excitation permettant la régulation indépendamment de toute source extérieure ;

Régulation indépendante de la vitesse et de la charge, la dynamo peut être compoundée ;

Régulation automatique sans dispositif extérieur ;

Régulation instantanée sans oscillation de la tension ;

Régulation à peu près indépendante de l'échauffement (la variation de tension est inférieure à 5 pour 100 pour 100°C).

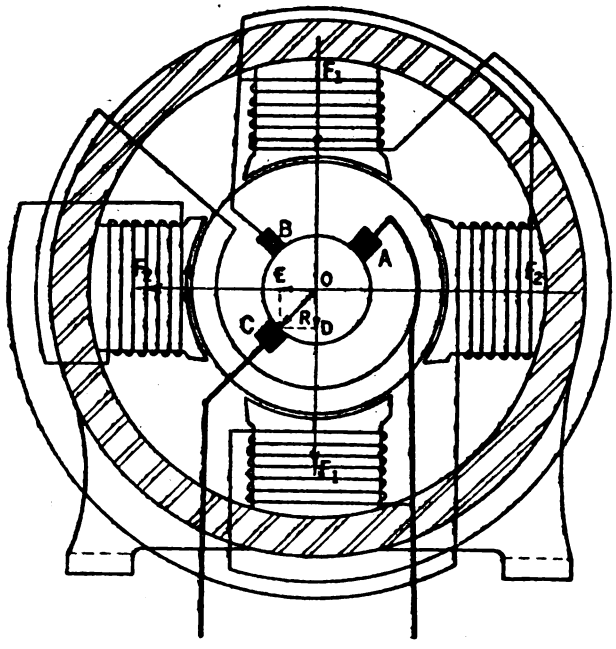


Fig. 1.

L'article donne une description de la machine et des diagrammes montrant les résultats obtenus aux essais. La dynamo comprend essentiellement (fig. 1) : un inducteur possédant un nombre de pôles double de celui qui correspondrait normalement à l'enroulement (dans le cas de la figure 1 l'enroulement de l'induit correspond à 2 pôles et l'inducteur en a 4). En plus des balais habituels A et C, un troisième balai B est calé à 90° des 2 premiers. Le champ peut être considéré comme dû à 2 flux : l'un Φ_1 appelé *flux principal* correspondant au circuit magnétique saturé F_1, l'autre Φ_2 appelé *flux transversal* correspondant au circuit magnétique non saturé F_2.

Φ_1 produit entre les balais A et B une force électromotrice dite *force électromotrice principale*. Entre B et C la force électromotrice produite par Φ_2 s'appellera *force électromotrice transversale*. L'excitation est prise entre A et B. Les tensions AB et BC dépendent respectivement et exclusivement de ces flux. La tension AC est telle que AC = AB — BC.

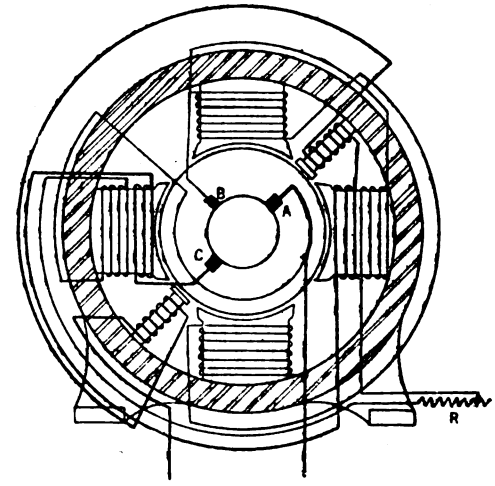


Fig. 2.

Le circuit principal étant saturé, AB est proportionnel à la vitesse ; donc l'excitation est proportionnelle à la vitesse. Le circuit magnétique transversal n'étant pas saturé, Φ_2 est également proportionnel à la vitesse et BC est proportionnel au carré de la vitesse. Pour que AC reste pratiquement constant dans des limites données, il suffira donc de choisir le nombre d'ampères-tours du circuit transversal de manière que les accroissements de AB et de BC se compensent.

Le schéma complet des connexions (fig. 2) comprend en outre : 1° un enroulement supplémentaire placé sur les pôles transversaux et destiné à s'opposer à la réaction d'induit ; cet enroulement passe également sur 2 pôles de commutation qui ont leur destination ordinaire : 2° une résistance variable en série sur l'enroulement inducteur, cette résistance est destinée à assurer d'une part la simultanéité des effets dus aux 2 circuits magnétiques, d'autre part, la compensation des variations dues aux changements de température des enroulements.

R.

(1) S.-R. Bergmann. *P. A. I. E. E.*, août 1918, t. xxxvii, p. 1011-1018, 2 000 mots, 6 fig.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Revues, analyses et informations

La concentration industrielle.

La guerre a donné lieu à la formation, dans tous les pays belligérants, de nombreux et puissants groupements industriels coopératifs, soit pour l'achat des matières premières ou des produits fabriqués, soit pour leur répartition entre les consommateurs. Dans son numéro du 7 février le « Moniteur des Intérêts matériels » de Bruxelles, publie à ce propos, un article dont nous extrayons les passages suivants :

L'évolution des pays industriels pendant la guerre a été grande. Nous y voyons qu'à côté d'un accroissement considérable de la production, il s'est créé de puissantes organisations coopératives.

1. — Si nous passons rapidement en revue ce qui s'est produit dans les principaux pays industriels, notre attention se trouve, de prime abord, fixée sur les Etats-Unis, dont l'industrie s'est développée d'une façon inouïe.

La sidérurgie a augmenté son rendement de plus d'un tiers et en 1916 la production de fonte y était de sept à huit fois supérieure à celle de la France en 1913 ; par conséquent, production considérable et, à côté de cela, formidable concentration ! C'est aux Etats-Unis que se sont fondés les premiers groupements industriels du monde, ces vastes trusts qui avaient obtenu le monopole, en fait, de leur fabrication, monopole qui se trouve réalisé lorsqu'on détient les quatre cinquièmes de cette fabrication, ce qui permet de régler les prix et la production elle-même. Qu'avons-nous vu se produire ? Non seulement les trusts sont arrivés à dominer chacun leur industrie, mais ils se sont fédérés entre eux, et c'est ainsi que le trust de l'acier est la fédération de plusieurs trusts tout-puissants ; à la concentration industrielle, il joint maintenant la concentration commerciale.

Précédemment, la consommation de l'Union suffisait à absorber la production de la sidérurgie américaine ; il n'en sera plus de même dans l'avenir. De l'enquête faite sur les trusts, il résulte qu'en 1911 la Steel Corporation disposait d'un capital de trois milliards et demi de francs ; elle s'était déjà engagée dans l'exportation. Ces temps derniers un nouveau trust s'est formé, dont le but, d'après les journaux, est de permettre au groupe américain de prendre place sur tous les marchés du monde. Cette croisade économique a réuni plus de vingt-cinq compétiteurs. Des agents vont être envoyés en Europe dans le but d'y chercher des débouchés ; des représentants seront installés dans les différents pays du monde. Il peut être traité pour 100 millions d'affaires par an. Le chiffre en dit long sur la concurrence qu'on aura à combattre.

2. — Il serait maladroit de ne pas tenir compte de la situation de notre ennemie, l'Allemagne. Sa production était, avant la guerre, trois fois plus forte que celle de la France ; pendant les hostilités elle n'a rien perdu de sa force vitale, malgré le blocus. Là aussi se trouvaient organisées de vastes concentrations : ce n'étaient pas des trusts amenant des fusions d'intérêt, mais des cartels qui n'étaient autre chose que des groupements respectant l'individualité des adhérents. Les entreprises conservaient leur indépendance de direction, mais chacune d'elles était astreinte à certaines obligations de prix et de limitation de production. Resserrant davantage leurs liens pendant la guerre, ces groupements ont revêtu la forme de véritables trusts, notamment dans l'industrie chimique, dans la sidérurgie, dans l'industrie du cuivre, dans la tannerie et, en général, dans toutes les principales industries auxiliaires de la guerre.

Mais les Allemands ont en même temps procédé à des intégrations très étendues ; les métallurgistes, par exemple, s'assurent le contrôle des charbonnages, des constructions navales et de la navigation elle-même. L'industrie teutonne va posséder une puissante armature pour ne pas abandonner ses visées ambitieuses sur les marchés perdus.

M. Hauser, observateur sagace des faits, économiste averti, n'ayant aucun parti pris, aucun esprit de système, s'exprime comme suit au sujet de l'industrie allemande :

« Il faut nous attendre à voir en Allemagne, après la guerre et pendant de longues années, des industries formidablement concentrées. Dans chaque industrie, les entreprises seront groupées en syndicats, à peu près uniques pour chaque profession et pratiquement obligatoires, syndicats soumis au contrôle très étroit de la puissance publique, investis par celle-ci d'un véritable monopole et destinés à aider l'Etat à amortir ses dépenses de guerre. Comme l'Etat pourra diminuer la taxe sur la production pour les articles d'exportation, les syndicats pourront systématiser le dumping de façon à lutter non seulement contre la concurrence des ennemis actuels de l'Allemagne, mais aussi contre la concurrence des pays qui n'auront pas été directements atteints par la guerre.

» Qu'on ne pense pas que la révolution amène quelque changement à ce programme. Le collectivisme allemand se plie aisément aux nécessités du moment, comme le prouve cet extrait, du 10 décembre dernier, du programme provisoire de la commission de socialisation :

» La commission se rend compte que la socialisation des moyens de production ne pourra s'opérer qu'avec le temps.

» La première condition de toute réorganisation économique est de ranimer la production. La situation économique de l'Allemagne réclame impérieusement, avant toute autre chose, le réveil de notre industrie d'exportation et de notre commerce extérieur. La commission est d'avis que, pour ces deux branches de l'activité économique, l'organisation actuelle doit être momentanement maintenue. »

L'Allemagne se présentera donc sur le marché international avec des industries concentrées, avec une force probablement accrue.

Digitized by Google

3. — Passant à l'Angleterre, qui était la forteresse de l'individualisme et où la production s'est également fortement développée, nous la voyons s'engager délibérément dans la voie de l'organisation collective, poussée par le gouvernement, qui a préconisé la concentration des entreprises.

Les grandes industries, dont dépend l'avenir du pays, ne sont plus abandonnées à l'entreprise privée. Les pouvoirs publics n'ont-ils pas pris en mains la construction maritime pour réparer les pertes causées par les sous-marins ? Quatre types de navires ont été imposés et leur construction a été rendue obligatoire sur tous les chantiers du Royaume-Uni ; on a ainsi obtenu la fabrication par séries, réduisant le coût au minimum ; de plus, les pièces sont interchangeables, ce qui facilite les réparations. L'intervention gouvernementale procurera donc à nos alliés une flotte commerciale beaucoup mieux aménagée que celle d'avant la guerre.

Il est certain que cette intervention officielle s'est beaucoup moins fait sentir dans les industries qui ne travaillaient pas directement pour la guerre, mais partout un mouvement intense a prévalu en faveur de la concentration, qui se traduit par des combinaisons de banques, de compagnies de navigation, de sociétés métallurgiques. Chaque mois, pour ne pas dire chaque semaine, nous en apprend une nouvelle. Et voilà qu'en ce moment on étudie la formation d'un Syndicat qui aspire à jouer un rôle semblable à celui du Steel Trust américain.

Enfin, comme couronnement de l'édifice, la Fédération des industries britanniques, armée d'importants capitaux, s'attache à assurer la cohésion de l'industrie, ses progrès, et surtout à développer l'exportation. Voilà donc encore une puissante concentration et une industrie plus forte que celle d'avant la guerre.

4. — Dans un examen rapide des principales industries étrangères, on ne peut s'empêcher de tenir compte de l'Italie, dont l'industrie s'est étonnamment développée pendant la guerre. En 1915 le capital investi dans les sociétés industrielles n'y atteignait que 196 millions ; il s'élevait à 667 millions en 1917, pour atteindre 1 360 millions en 1918 ; mais, en même temps que la production s'accroissait, la concentration s'opérait sur une large échelle, à tel point qu'il n'y a plus guère que deux groupements dans la métallurgie et un seul dans l'industrie électrique.

Les banques, assaillies par l'industrie, ont été réunies en consortium par le gouvernement. L'industrie italienne désire non seulement secouer l'emprise allemande ou étrangère qui l'étreignait, elle veut aussi se lancer dans l'expansion mondiale. L'Italie désire exporter ses produits fabriqués, entre autres ses automobiles, ses soieries, ses machines agricoles.

5. — Voici ce qui se passe autour de nous. Mais d'autres régions, notamment le Japon, ont vu croître et se développer les concentrations. Partout se multiplient les groupements nationaux ; il en surgit aujourd'hui comme des champignons après un orage.

6. — Dans ces conditions, s'écrie M. Tournau, dans un discours à la Chambre des députés française, comment l'industrie française parviendra-t-elle à reconquérir la place qui lui revient ? La tâche sera rude. Les trois quarts de nos établissements qui se trouvaient dans les régions envahies ont été détruits ou saccagés par l'ennemi. Le personnel est dispersé et singulièrement amoindri par les privations et les sévices, comme par les pertes des combats. Il faut rallumer ces foyers d'activité que la barbarie germanique a voulu éteindre à tout jamais ; il faut réédifier ces ateliers, ces manufactures, ces usines qui répandaient la prospérité autour d'elles et dans la France entière.

Le gouvernement, fidèle à la doctrine du laisser faire, va-t-il encore abandonner l'industrie à elle-même ? Ne cherchera-t-on pas à éclairer les industriels sur leur intérêt véritable, qui se confond avec l'intérêt national ? L'orateur démontre alors la nécessité de la centralisation industrielle, qui permettra de substituer les moyens mécaniques à la main-d'œuvre qui fera défaut, tout comme les industriels américains se sont ingéniés à le faire.

Dans l'aciérie de Gary, non loin de Chicago, le train de laminoirs qui produit 1 800 000 t de rails par an est conduit par six ouvriers, placés chacun dans une guérite en face d'un véritable clavier de manivelles, de leviers et de boutons électriques, et pour surveiller ce matériel en action perpétuelle deux ou trois hommes seulement se promènent dans le hall. « La vue de ce travail sans ouvriers est quelque chose de fantastique, dit l'un des auteurs qui ont révélé les progrès de l'industrie américaine. On croirait qu'il y a là un démon invisible et tout-puissant qui s'amuse à projeter en tous sens d'énormes barres de fer rouge. »

Ces quelques ouvriers assurent la manipulation d'une quantité de métal qui équivaut au tiers de la production française d'avant la guerre.

De toute évidence, c'est cet exemple que doivent suivre nos industriels dans l'œuvre de reconstruction.

L'école d'apprentissage de MM. Thoumyre fils à Arques-la-Bataille (Seine-Inférieure).

MM. Thoumyre fils, industriels à Arques-la-Bataille, viennent de créer dans leurs établissements une école d'apprentissage pour les métiers de mouleur, modeleur, chaudronnier, ajusteur et tourneur sur métaux. Il nous a paru utile de faire connaître les grandes lignes de son organisation.

Chaque apprenti a pour parrain un maître-ouvrier qui dirige et surveille son travail et prend la responsabilité de sa moralité ; ce parrain est intéressé à sa mission par une gratification de 100 fr qui lui est remise chaque fois que son pupille passe avec succès l'examen de passage qui a lieu à la fin de chacune des trois années d'apprentissage.

L'apprenti reste chaque jour pendant 8 heures à l'atelier ; il suit en outre des cours théoriques de 2 heures faits par l'ingénieur de l'usine, le patron et l'instituteur de la commune. Chaque trimestre, il subit un examen permettant de constater ses progrès. Les trois années d'apprentissage permettent à l'apprenti de s'initier à tous les travaux du métier qu'il a choisi. Pour les ajusteurs-mécaniciens, la première année est exclusivement réservée au travail manuel comme aide de montage et de démontage ; la deuxième année leur permet de se familiariser avec l'emploi des machines élémentaires, perceuses, raboteuses, avec les travaux de forge, spécialement pour la fabrication des outils ; la troisième comporte un trimestre de tour et de fraiseuse, un autre de menuiserie, un trimestre de modelage, un autre de fonderie.

Chaque semaine une note de travail est portée par le parrain sur un livret. L'examen de fin d'année porte sur un ensemble de matières dont l'exemple suivant donne une idée : 1° un travail manuel exécuté dans un temps donné ; 2° un croquis avec cotes ou un tracé ; 3° une question de mécanique ou la description d'une machine ; 4° une dictée ; 5° un problème ; 6° une question de géographie. Le candidat

Digitized by Google

reçu obtient un diplôme et passe dans le cours supérieur; son parrain conserve le droit de reprendre un apprenti.

La première année l'apprenti touche 0,10 fr par heure, la seconde 0,20 fr; la troisième 0,35. S'il est reçu à son examen, il perçoit, à titre d'encouragement, une allocation supplémentaire de 0,05 par heure pour tout le temps de présence de l'année et la gratification de 100 fr donnée à son parrain est offerte par la maison; s'il échoue, il lui est au contraire retenu une somme de 25 fr par trimestre pour la rétribution du parrain.

Un système américain d'exportation.

On lit dans « l'Exportateur français » du 23 janvier 1919 :

Un de nos correspondants a pu interroger le directeur d'une des firmes les plus importantes d'importation et d'exportation de Chicago, et voici les renseignements fort intéressants qu'il a pu obtenir :

Le représentant de cette grande maison de commission se présente, par exemple, chez un fabricant de chaussures américain, et il lui dit à brûle-pourpoint : « Monsieur, voulez-vous vous contenter de faire un profit net de 5 pour 100 sur toutes les marchandises que je vais vous acheter, en vue de leur expédition en France; je vous en prendrai ferme une grande quantité et je vous les paierai à 30 jours. Seulement, je vous demande d'avoir confiance en moi. Montrez-moi vos livres, et faites-moi connaître le prix de revient exact de vos produits? »

Si Yankee qu'il soit, le producteur américain commence par faire la grimace, lorsqu'il s'agit de montrer ses livres avec l'espérance d'un simple profit de 5 pour 100. Alors le commissionnaire devient plus pressant, et il ajoute : « Notez bien que les affaires importantes proposées par moi n'ajouteront pas un centime à vos frais généraux, qu'elles vous permettront d'étendre votre production, de consommer davantage de matières premières et, par conséquent, de les obtenir de vos fournisseurs à meilleur compte... »

Le fabricant, après réflexion, comprend alors tout l'intérêt que cette proposition offre pour lui. Il montre ses livres, on discute et il arrive, parfois, que le commissionnaire ajoute au profit 1 ou 2 pour 100 pour représenter les déchets et les frais de bureau.

Avec un pareil marché, le commissionnaire américain envoie son représentant en France et il est évident qu'il peut proposer à l'intermédiaire des prix tels, que si cet intermédiaire voulait s'adresser directement à la maison américaine productrice, il ne pourrait pas en obtenir d'aussi réduits.

Ce procédé, qui consiste à considérer la marchandise d'exportation comme une marchandise à demi-sacrifiée, devant être vendue à vil prix ou tout au moins en laissant un bénéfice très minime, a toujours été employé par les Allemands. Il conduit à ce résultat, que les consommateurs nationaux d'un producteur exportateur paient souvent la marchandise plus chère que les étrangers. Mais, les explications qui ont été fournies plus haut par le concessionnaire américain prouvent que son opération, malgré son allure paradoxale, est bonne, puisqu'en définitive, l'exportateur y trouve son profit et puisque des salaires plus abondants peuvent être payés à ses ouvriers.

Assemblées générales

Compagnie générale d'éclairage de Bordeaux.

Assemblée générale ordinaire de 27 décembre 1918.

L'exercice se termine avec une perte considérable de 2416052,95 fr qui résulte de l'application des prix de vente du gaz inscrits au cahier des charges; le produit des relèvements de prix effectués en vertu de la convention passée avec la ville le 6 mai 1916, et qui a continué à fonctionner depuis cette époque, restant porté au compte d'attente prévu par cette convention.

Les causes de cette perte proviennent de la hausse des matières et du charbon, du relèvement de salaire et de la diminution de consommation du gaz par suite des mesures restrictives édictées par les Pouvoirs publics.

Le coût du charbon a été de 104,59 fr la tonne mais a été ramené à 89,40 fr par suite des ristournes effectuées par la caisse de compensation. Cette année, l'approvisionnement de charbon a été assuré par le Bureau national des charbons; la proportion de houilles françaises a considérablement augmenté, elle est passée de 12 pour 100 en 1916-1917 à 65 pour 100 en 1917-1918. Les difficultés de ravitaillement ont été grandes, les usines marchaient au jour le jour sans stock, néanmoins il n'y a pas eu d'arrêt.

La ville de Bordeaux a pris la décision importante de racheter les concessions de gaz et d'électricité. En 1913, usant du droit que lui confère l'article 48 du cahier des charges, le rachat avait été proposé par une partie du conseil municipal mais avait été rejeté. La deuxième période de rachat expirant au 30 juin prochain, la Ville a signifié par voie d'huissier le 24 juin dernier (soit un an d'avance) qu'elle entendrait user de son droit de rachat, aussi bien pour la concession d'énergie électrique que pour celle du gaz. La même signification a été faite à la Société d'éclairage électrique de Bordeaux et du Midi et à M. Tricoche pour les secteurs électriques qu'ils desservent. La signification a été reçue par la Compagnie avec toutes réserves et les droits de celles-ci seront défendus.

Les demandes de réclamations d'indemnité, faites à la Ville, ne s'étant pas terminées par une solution amiable, le procès fut plaidé devant le Conseil de Préfecture le 13 décembre, un arrêté donne gain de cause à la Compagnie sur des points importants. La demande d'indemnité portait sur la période se terminant au 30 juin 1917; une nouvelle requête devra être faite pour 1917-1918 et ultérieurement, pour l'exercice en cours.

Les ventes de gaz se sont élevées à 23118925 m³, soit 2056947 m³ de moins que l'année précédente.

Les ventes d'électricité se sont élevées à 26987187 kw-h contre 26865747, soit une augmentation de 119440 kw-h.

La Compagnie a dû limiter à la plupart des industries de guerre la fourniture d'énergie qui devait leur être faite. L'installation du groupe électrogène n'a pu être terminée en temps voulu. Il vient seulement d'être mis en service d'une façon effective

Digitized by Google

Les recettes de vente ont été de 4613448,58 fr en augmentation de 530158,68 fr.

Le nombre des compteurs s'est accru de 1358, ce qui le porte à 13492, il s'agit en majeure partie de consommateurs de courant pour l'éclairage.

En raison de la perte, la Compagnie se trouve encore dans la nécessité de suspendre le service de l'intérêt et de l'amortissement des obligations.

BILAN AU 30 JUIN 1918.

Actif.

	fr
Premier établissement	28 677 048,02
Caisses et banques	862 906,50
Outillage et mobilier	173 826,65
Installations en location	2 986 554,20
Fourneaux en dépôt	266 953,69
Cautionnement Ville de Bordeaux	317 560,55
Redevance complémentaire de garantie	400 000 »
Frais de constitution	176 335,53
Prime d'amortissement d'obligations	1 562 982,25
Approvisionnements et stocks	1 678 698,07
Divers débiteurs	5 218 509,49
Comptes à amortir	8 213 304,35
Réfection de gazomètres	317 063,12
Portefeuille	170 500 »
Profits et pertes	2 416 052,95
	53 418 315,37

Passif.

	fr
Capital-actions	14 000 000 »
Obligations en circulation	14 523 000 »
id amorties	3 461 000 »
Coupons à payer et titres à rembourser	4 267 696,98
Réserve légale	38 386,61
Fonds général d'amortissement	1 512 383,01
Créditeurs divers	6 131 127,31
Ville de Bordeaux « Compte d'attente »	9 485 721,46
	53 418 315,37

L'Union électrique.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 20 DÉCEMBRE 1918.

Le bilan se présente d'une manière satisfaisante. Après déduction de toutes les charges sociales, y compris l'amortissement pour 1918 de 351 obligations (175000 fr) sorties au tirage, les bénéfices nets ont atteint 406123,14 fr.

Les recettes ont passé, depuis le 30 juin 1914, de 1418794 fr à 2067137 fr; les dépenses d'exploitation de 527290 fr à 969811 fr, les charges financières de 499627 fr à 756621 fr. Durant la même période, le nombre des abonnés a passé de 9161 à 13687, le nombre des lampes de 99864 à 117997 et celui de la force motrice branchée de 5460 ch à 8492.

Cet essor considérable a été réalisé au milieu des difficultés avec un personnel réduit et un matériel surchargé. Dès que la situation sera redevenue normale, la Société devra faire la révision complète des installations et des réseaux aériens. Les négociations avec la municipalité de Saint-Claude pour le relèvement du prix de vente du gaz ayant abouti, l'exploitation de l'usine à gaz a cessé d'être déficitaire.

La Société a acquis un lot important d'actions de la Société des Forces motrices de la vallée de la Bienne, s'assurant ainsi la majorité dans cette société établie aux portes de Saint-Claude et dont le réseau s'étend jusqu'à Morez.

En couverture des risques de change résultant du découvert chez les Banques suisses, la Société constitue une réserve spéciale de 3000000 fr.

Les bénéfices nets de l'exercice s'élèvent à 406123,14 fr. Sur cette somme, il est prélevé 72627,85 fr pour des amortissements des usines du Saut-Mortier et de Cize-Bolozon, 21600 fr pour l'annuité de la prime de remboursement des obligations 5 pour 100.

Il reste une somme de 311895,29 fr, le solde reporté 1916-1917 était de 20751,42 fr.

Après prélèvement des 300000 fr pour la réserve des risques de change, il reste 32646,71 qui sont reportés à nouveau.

BILAN AU 1ER JUILLET 1918.

Actif.

	fr	
Fonds de commerce, frais de constitution et de premier établissement	Mémoire.	
Immeubles, ouvrages hydrauliques, usines et réseaux :		
Secteur du Saut-Mortier	9 755 447,43	
Secteur de Cize-Bolozon	4 055 955,89	
Chutes de Cize-Bolozon et de Serrières-sur-Ain	1 000 000 »	
Concessions, études et projets divers au 1er juillet 1918	11 057,30	
Matériel en magasin :		
Gaz	22 919,70	
Electricité, Saut-Mortier	198 228,60	
Electricité, Cize-Bolozon	260 106,15	
Mobilier :		
Saut-Mortier	1 »	
Cize-Bolozon	1 »	
Outillage :		
Saut-Mortier	12 000 »	
Cize-Bolozon	8 000 »	
Compteurs et divers en location :		
Saut-Mortier	8 000 »	
Cize-Bolozon	32 000 »	
Débiteurs divers	40 000 »	
Espèces en caisse et en banques	336 719,65	
Actionnaires	2 250 000 »	
Débiteurs	261 767,15	
Compte d'ordre. Avance faite sous les auspices du gouvernement	500 000 »	
Prime de remboursement, obligations 5 %, série C 1914	453 600 »	
Portefeuille, bons de la Défense nationale et divers	1 281 125 »	
	20 486 929,07	

Passif.

	fr
Capital-actions	7 000 000 »
Réserve légale	62 653,55
Réserve pour marche usine thermique	50 000 »
Fonds d'amortissements des immobilisations	223 500 »
Fonds de réserve pour risques de change	300 000 »
Amortissements des obligations sorties 1915-1918, à remboursement ajourné	502 000 »
Obligations 4 % série A	438 500 »
Obligations 4 1/2 % série B	2 880 000 »
Obligations 5 % série C	5 604 000 »
Créanciers divers	332 566,30
Créanciers divers, fournisseurs	1 949 936,81
Compte d'ordre. — Nos acceptations Banque des Pays du Nord	500 000 »
Obligations à rembourser	503 496,40
Coupons à payer :	
Actions	2 823,85
Obligations	104 805,55
Solde reporté, exercice 1917-1918	32 646,71
	20 486 929,07

Digitized by Google

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Décret et arrêtés concernant l'organisation du Comité d'électricité.

Le « Journal officiel » du 16 février publie, pages 1 785-1 786, le décret et l'arrêté du 11 février du ministre des Travaux publics et des Transports qui sont reproduits ci-dessous.

Décret. — ARTICLE PREMIER. — Le Président de la République française, sur le rapport du ministre des Travaux publics et des Transports, vu les articles 16 et 20 de la loi du 16 juin 1906 sur les distributions d'énergie, vu le décret du 7 février 1907, modifié par les décrets des 14 janvier et 15 juillet 1910 sur l'organisation du Comité d'Électricité, décrète :

ARTICLE PREMIER. — Sont nommés membres du Comité d'électricité pour les années 1919 et 1920.

A. — REPRÉSENTANTS PROFESSIONNELS DES GRANDES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES : M. Bizet (P.), administrateur de la Compagnie générale d'Electricité.

M. Boutan, directeur de la Compagnie du Gaz de Lyon.

M. Brachet, directeur des services techniques à la Compagnie parisienne de distribution d'électricité.

M. Bryliuski, directeur de la Société du Triphasé (Nord-Lumière), président du Comité électro-technique français.

M. Cordier (Gabriel), président de l'Union des Syndicats de l'Electricité.

M. Equer, administrateur délégué de la Compagnie générale parisienne de Tramways.

M. Giros (A.), administrateur de la Société Energie électrique du Nord et de la Compagnie électrique de la Loire et du Centre.

M. Hillairet, ingénieur constructeur.

M. Labour (E.), ingénieur conseil.

M. Legouëz, administrateur de la Société parisienne pour l'Industrie des chemins de fer et des tramways électriques, de la Compagnie du Chemin de fer métropolitain de Paris et de la Société des Ateliers de construction électrique du Nord et de l'Est.

M. Meyer (Ferdinand), administrateur délégué de la Compagnie continentale Edison.

M. Pavie, administrateur délégué de la Compagnie générale française de Tramways.

M. Picou, ingénieur des Arts et Manufactures.

M. Rey (Jean), ingénieur civil des Mines, administrateur directeur des Anciens Etablissements Sautter-Harlé.

M. Mazen, chef du service du matériel et de la traction des Chemins de fer de l'Etat.

B. — MEMBRES PRIS DANS LES ADMINISTRATIONS. — a) *Ministère de l'Agriculture.* — M. de Thelin, inspecteur général du Service hydraulique.

M. Troté, inspecteur général du Service hydraulique.

M. Pélissier, inspecteur général des Améliorations agricoles.

b) *Ministère de la Guerre.* — M. le colonel Ferrié, directeur technique de la Radiotélégraphie militaire.

M. le colonel Piérard, directeur des Études et du Matériel spécial du Génie.

M. le colonel Rouyer, directeur de l'Arsenal de Roanne.

c) *Ministère de l'Intérieur.* — M. Hendlé, conseiller d'Etat, directeur de l'Administration départementale et communale.

M. Lauriol, ingénieur en chef des Services généraux d'Eclairage de la Ville de Paris.

M. Michaux, membre du Comité consultatif de la Vicinalité.

d) *Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes.* — M. Bouchard, ingénieur en chef, inspecteur général des Postes et des Télégraphes.

M. Maureau, ingénieur en chef, chargé de la direction du Service technique de la région de Paris.

M. Rochas, ingénieur à la disposition du directeur de l'Exploitation téléphonique à Lyon.

e) *Ministère des Travaux publics et des Transports.* — M Monmerqué, inspecteur général des Ponts et Chaussées, chargé de l'inspection des Services de Contrôle des Distributions d'énergie électrique.

M. de la Brosse, inspecteur général des Ponts et Chaussées, chargé de l'Inspection des Forces hydrauliques.

M. Ourson, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, professeur du cours de physique à l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées.

ART. 2. — Le ministre des Travaux publics et des Transports est chargé de l'exécution du présent décret.

Arrêté. — Le ministre des Travaux publics et des Transports, sur la proposition du Directeur de la Voirie routière, arrête :

ARTICLE PREMIER. — Sont nommés pour l'année 1919 :

Président : M. Monmerqué, inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Vice-président : M. Cordier (Gabriel), président de l'Union des Syndicats de l'Electricité.

Secrétaire : M. Ourson, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

ART. 2. — MM. Le Gavrian, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées ; Arbelot, ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées, et Cahen, ingénieur des Postes et des Télégraphes, sont attachés au Comité d'Electricité en qualité de secrétaires adjoints.

Arrêtés concernant la Commission des distributions d'énergie électrique.

Le « Journal officiel » du 16 février publie, pages 1786-1787, les deux arrêtés suivants, en date des 13 et 14 février 1919, du Ministre des Travaux publics et des Transports.

Arrêté. — Le Ministre des Travaux publics et des Transports, vu l'arrêté du 9 avril 1908, instituant au Ministère des Travaux publics une Commission des Distributions d'énergie électrique ; vu l'arrêté du 25 août 1909 portant organisation de ladite Commission ; vu l'arrêté du 26 novembre 1911 nommant membre de droit l'inspecteur général des Services de Contrôle des Distributions d'Energie électrique ; vu l'arrêté du 30 octobre 1912 portant à 8 le nombre des secrétaires adjoints rapporteurs ; vu l'arrêté du 16 janvier 1913 portant à 9 le nombre des inspecteurs généraux des Ponts et Chaussées ou des Mines, membres de la Commission ; vu l'arrêté du 12 septembre 1917 fixant à 8 le

Digitized by Google

nombre des représentants de l'industrie électrique, membres de la Commission, l'une des places devant être attribuée au personnel ouvrier ; vu la décision du 30 janvier 1909 autorisant le secrétaire du Comité de l'Exploitation technique des Chemins de fer à assister, en qualité d'auditeur, aux séances de la Commission des distributions d'énergie électrique ; sur la proposition du directeur de la voierie routière, arrête :

Article premier. — La Commission des Distributions d'énergie électrique comprend des membres de droit et des membres nommés par arrêté ministériel pour deux années.

Les membres sortants peuvent être nommés.

Art. 2. — Sont membres de droit :

Les directeurs de l'Administration centrale du Ministère des Travaux publics ;

Les représentants du Ministère des Travaux publics et de l'Administration des Postes et des Télégraphes au Comité permanent d'Electricité ;

Le directeur de l'Administration départementale et communale au Ministère de l'Intérieur ;

L'inspecteur général des Services de Contrôle des Distributions d'énergie électrique ;

Le secrétaire du Comité de l'exploitation technique des Chemins de fer assiste en qualité d'auditeur aux séances de la Commission.

Art. 3. — Les membres nommés par arrêté comprennent douze inspecteurs généraux ou ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées ou des Mines, un représentant du Ministère du Travail et de la Prévoyance sociale, dix représentants de l'industrie électrique dont deux appartenant au personnel ouvrier.

Art. 4. — La Commission est présidée par un inspecteur général des Ponts et Chaussées de 1re classe, désigné chaque année par le ministre.

Art. 5. — A la Commission sont attachés : un ingénieur en chef des Ponts et Chaussées ou des Mines, secrétaire, avec voix délibérative, huit ingénieurs en chef ou ordinaire des Ponts et Chaussées ou des Mines ou des Postes et des Télégraphes, secrétaires-adjoints, rapporteurs, avec voix délibérative, dans les affaires qu'ils ont exposées.

Art. 6. — La Commission donne son avis sur les affaires au sujet desquelles elle est consultée par le ministre et, en général, sur les questions relatives à l'application de la loi du 15 juin 1906.

Art. 7. — Les affaires sur lesquelles la Commission est appelée à délibérer sont transmises au secrétaire qui distribue aux secrétaires-adjoints, rapporteurs, les dossiers dont il ne se réserve pas l'étude.

L'exposé est fait par le secrétaire ou par les secrétaires-adjoints, rapporteurs, dont le résumé et les conclusions sont formulés par écrit et distribués avant chaque séance aux membres de la Commission.

Arrêté. — Le Ministre des Travaux publics et des Transports, vu l'arrêté du 13 février 1919 portant réorganisation de la Commission des Distributions d'énergie électrique ; sur la proposition du directeur de la voirie routière, arrête :

Article premier. — Sont nommés membres de la Commission des Distributions d'énergie électrique pour les années 1919 et 1920 :

M. Schoendoerffer, inspecteur général des Ponts et Chaussées, président.

M. Ribière, inspecteur général des Ponts et Chaussées, vice-président.

M. Tourtay, inspecteur général des Ponts et Chaussées, vice-président.

M. Mussat, inspecteur général des Ponts et Chaussées, vice-président.

M. Le Cornec, inspecteur général des Ponts et Chaussées, vice-président.

M. Galliot, inspecteur général des Ponts et Chaussées, vice-président.

M. Tur, inspecteur général des Ponts et Chaussées, vice-président.

M. Leloutre, inspecteur général des Ponts et Chaussées, vice-président.

M. Robert, inspecteur général des Ponts et Chaussées, vice-président.

M. Walckenaer, inspecteur général des Mines.

M. Weiss, inspecteur général des Mines.

M. de Ruffi de Pontevez Gevaudan, ingénieur en chef des Mines.

M. Seguin, inspecteur du Travail.

M. Brylinski, directeur de la Société anonyme le Triphasé (Nord-Lumière).

M. Cahen (Henri), administrateur-délégué du Sud électrique.

M Chaignaud, administrateur de la Compagnie parisienne de Distribution d'électricité.

M. Labour, administrateur de la Société d'Application de l'électricité à la Traction.

M. Legouez, administrateur de la Société parisienne pour l'Industrie des chemins de fer et des tramways électriques.

M. Moulun, administrateur de l'Electro-Entreprise.

M. Paré, ingénieur-conseil.

M. Raclet, président du conseil d'administration de la Société lyonnaise des Forces motrices du Rhône.

M Sautereau, trésorier du Syndicat des Forces motrices et industrielles électriques.

M. Veybel, secrétaire-adjoint du Syndicat des Forces motrices et industrielles électriques.

Art. 2. — Sont attachés à la Commission des Distributions d'énergie électrique pendant les années 1919 et 1920 pour remplir les fonctions ci-après désignées :

Secrétaire : M. Le Gavrian, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées

Secrétaires-adjoints-rapporteurs :

M. Tumerelle, ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées.

M. Gervais de Rouville, ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées.

M. Ducastel, ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées.

M. Arbelot, ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées.

M. Oppenheim, ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées.

M. Huet, ingénieur ordinaire des Ponts et Chaussées.

M. Aron (Alexis), ingénieur ordinaire des Mines.

M. Augier, ingénieur en chef des Télégraphes.

Décret fixant les conditions dans lesquelles les ingénieurs des Arts et Métiers pourront être nommés matelots élèves mécaniciens.

D'après le décret du 17 juillet 1908, refondu le 15 juillet 1914, relatif à la réorganisation du corps des équipages de la flotte, une place de matelot élève mécanicien est annuellement réservée sans concours à un élève sortant de chacune des Ecoles nationales d'Arts et Métiers avec le diplôme d'ingénieur.

Pendant les hostilités il n'a pas été fait application de cette disposition. Elle sera de nouveau appliquée cette année et, par suite, 6 places de matelot élève mécanicien seront attribuées sans concours aux élèves des Ecoles d'Arts et Métiers. Toutefois, pour éviter que les élèves ayant pris part à la guerre ne soient défavorisés par rapport à ceux que des circonstances particulières ont soustrait aux charges militaires, un décret du ministre de la Marine, en date du 10 février 1919, publié au « Journal officiel » du 13 février, p. 1681, fixe que : « Ne pourront bénéficier, en 1919, que ceux de ces ingénieurs qui, ayant été incorporés dans les armées de terre ou de mer pendant les hostilités, n'auront été rendus à la vie civile que par suite de réforme ou postérieurement à l'armistice et qui seront reconnus aptes au service de la flotte. »

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF :
Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 10. — 8 MARS 1919.

Chronique. — Le rôle du Laboratoire central d'électricité dans les travaux internationaux concernant les unités électriques. — Sur un montage des compteurs enregistrant l'énergie des postes triphasés. — Bibliographie : La tourbe et son utilisation, par Pierre DE MONTGOLFIER ; Les moteurs à explosion dans l'aviation, par A. MASMÉJEAN et E. BÉRÉHARE ; Memento à l'usage des gradés et sapeurs du 8e régiment du génie, p. 361-362.

Section scientifique et technique. — Note sur le montage en récupération du moteur shunt à collecteur, par Marius LATOUR, p. 363. — Note sur la courbe des coups de bélier au vannage et les lois non linéaires de fermeture et d'ouverture rapides, par Ed. CAREY, p. 367. — Revues, analyses et informations : Diminution, avec l'usage, du rayonnement ultra-violet et du rayonnement total émis par les lampes en quartz à vapeur de mercure, p. 380.

Section industrielle. — La commande électrique des machines-outils, par A. SOULIER, p. 381. — L'avenir de l'industrie électrique en Roumanie, par Drag. HURMUZESCU, p. 388. — Revues, analyses et infomations : Le parafoudre à pellicule d'oxyde, p. 393.

Section économique et financière. — Revues, analyses et informations : Le capital et le travail en France ; les conventions collectives de travail, p. 397 ; L'action économique en Suisse, p 400 ; La situation économique en Allemagne, p. 400.

Le rôle du Laboratoire central d'Electricité dans les travaux internationaux concernant les unités électriques.

— Dans une étude publiée il y a deux ans sous le titre « Les travaux et le rôle scientifique international du Laboratoire central d'Electricité », (1) M. Paul Janet, directeur de ce Laboratoire, faisait ressortir la contribution importante qui lui revient dans les recherches faites en commun avec les grandes institutions étrangères dans le domaine des unités électriques. Dans une communication récente à la Société française des Electriciens (2), M. P. Janet revient sur ce point à propos des mesures qui furent faites à Washington en avril et mai 1910 sur l'élément Weston et le voltamètre à argent.

L'origine de ces mesures était la décision prise par la Conférence de Londres de 1908 (3) de définir l'unité de courant, l'ampère, par la masse d'argent déposé dans un voltamètre à argent pendant l'unité de temps. Des divergences de quelques dix-millièmes subsistant alors entre les nombres trouvés par les différents laboratoires pour exprimer cette masse, le Comité international, chargé par la Conférence de poursuivre les travaux nécessaires à la réalisation de ses décisions, estima qu'il était indispensable de rechercher, par des expériences comparatives, d'où venaient ces divergences.

Dans une lettre adressée le 15 mars 1909 au Président du Comité, M. Warburg, directeur du Physikalisch-Technische Reichsanstalt, et à son vice-président M. Glazebrook, directeur du National Physical Laboratory, M. Straton, directeur du Bureau of Standards et M. Rosa, physicien à ce Bureau, proposèrent que ces recherches fussent entreprises à Washington dans les laboratoires du Bureau of Standards. Cette proposition rencontra une entière approbation, mais dans les circulaires qui furent envoyées en juin 1909 pour informer les membres du Comité de sa mise à exécution, il n'était question que de l'envoi à Washington de deux délégués seulement, l'un du Physikalisch-Technische Reichsantalt, l'autre du National Physical Laboratory, et ce ne fut qu'à la suite d'un échange de lettres entre MM. Lippmann, Benoît, Janet, d'une part, MM. Warburg, Glazebrook, Rosa, d'autre part, que M. Laporte, sous-directeur du Laboratoire central d'Electricité, fut adjoint aux délégués des deux institutions précédentes, MM. Jeager et Smith.

Dans sa communication, M. Janet a publié ces lettres; nous ne les reproduirons pas, mais il importe de faire connaître les conclusions qu'en tire M. Janet.

« Des documents qui précèdent, dit-il, je voudrais tirer deux conclusions : la première est que, dans les

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 17 janvier 1917, t. I, p. 243-252.

(2) *Bulletin de la Société internationale des Electriciens*, janvier 1919, t. IX, 3e série, p. 7-16.

(3) Pour les travaux de cette conférence voir *La Revue électrique*, 30 octobre et 15 novembre 1918, t. X, p. 289-290 et 353-355.

Digitized by Google

circonstances que j'ai rappelées, le Laboratoire central d'Électricité a joué, au point de vue français, un rôle de première importance. Si notre société n'avait pas créé, organisé et entretenu ce laboratoire, nous nous serions trouvés complètement désarmés pour demander la participation de nos compatriotes aux expériences internationales projetées. La Société des Électriciens a donc rendu là à la science française un service éminent et qui ne doit pas être oublié.

» La seconde, c'est que, dans ces circonstances, comme dans plusieurs autres, nous avons souffert de l'absence, en France, d'un laboratoire national analogue, par l'ampleur des ressources, à ceux qui existent à l'étranger. Notre laboratoire, avec des moyens notoirement insuffisants, a représenté dans cette occasion et doit constituer désormais la section électrique de ce laboratoire national. C'est là un point de vue que j'ai toujours soutenu, et je dois constater avec satisfaction que ce point de vue commence à être généralement adopté. Il en sortira, je l'espère, le développement nécessaire de notre laboratoire que nous devons tous souhaiter. »

Sur un montage des compteurs enregistrant l'énergie des postes triphasés. — A la suite de la publication dans le numéro de la « R. G. E. » du 18 janvier d'une lettre de M. Barbagelata relative à un article de M. P. Bourguignon paru dans le numéro du 17 août 1918, t. IV, p. 214, ce dernier nous demande d'insérer la lettre ci-dessous :

J'ai lu, insérée dans votre numéro du 18 janvier, la lettre de M. Barbagelata dont j'ai regret d'avoir ignoré jusqu'ici les travaux et je le remercie de vouloir bien les signaler aux électriciens français qui étaient trop occupés en août 1918 par d'autres événements pour pouvoir suivre les périodiques italiens.

La coïncidence qui est si naturelle en pareille matière ne serait « étrange » que si M. Barbagelata prétendait, ce qui n'est certainement pas sa pensée, avoir *inventé* et *révélé* la méthode des deux wattmètres ou même simplement monopoliser l'application immédiate d'une méthode aussi connue et aussi vulgarisée.

Veuillez...

P. Bourguignon.

Nous ne pouvons que regretter d'avoir laissé subsister dans la lettre de M. Barbagelata les mots « étrange coïncidence » auxquels M. Barbagelata n'a certainement pas donné le sens que lui attribue M. Bourguignon, si nous en jugeons par la lettre personnelle qu'il nous adressait en même temps que la lettre publiée.

Bibliographie : La tourbe et son utilisation, par Pierre de Montgolfier [1]. — Ce livre passe en revue, d'abord les propriétés de la tourbe, ensuite ses gisements en Europe et entre enfin dans le vif du sujet en examinant les moyens employés pour son utilisation. Notons en passant que le point de vue économique, si important aujourd'hui, n'a pas été négligé, il est envisagé sous la rubrique « coût des installations ». L'ouvrage se termine par une liste des spécialistes avec leur adresse, ce qui ne peut manquer d'être utile à ceux que la question intéresse.

(1) Un vol., format 21 cm × 13 cm, 180 pages, édité par Dunod et Pinat. Prix, 7,50 fr, plus majoration de 20 pour 100.

Bibliographie : Les moteurs à explosion dans l'aviation, par A. Masmejean et E. Béréhare [1]. — Dans cet ouvrage, les auteurs ont réuni tous les éléments qui leur ont paru indispensables pour l'étude pratique du moteur à explosion en essayant de les présenter sous une forme simple, capable d'intéresser ceux qui ont à conduire, à réparer, ou à entretenir des moteurs de ce genre.

Les aviateurs et les mécaniciens de l'aéronautique en particulier pourront trouver, dans ce premier volume, des renseignements utiles et des résultats d'expériences leur permettant d'acquérir plus rapidement les connaissances professionnelles susceptibles de faciliter l'accomplissement de leur tâche.

L'ouvrage complet formera trois tomes :

Le tome I qui vient de paraître comprend les études préliminaires du moteur à explosion. Les deux premiers chapitres donnent des indications sur la nature et sur les essais des métaux et alliages employés dans la fabrication des moteurs et rappellent les notions élémentaires de thermodynamique nécessaires pour une étude pratique du moteur à explosion.

Les chapitres III et IV traitent de la description générale du moteur à explosion, des divers cycles et du principe du fonctionnement ; ce sont là, exposés clairement et simplement, les éléments qui doivent être connus avant d'aborder l'étude du moteur d'aviation en particulier.

Le chapitre V est relatif à la définition et à la mesure des puissances des moteurs, à l'appréciation des erreurs de ces mesures et à l'étude des causes qui influent sur la variation des puissances ; ce chapitre intéresse particulièrement les mécaniciens préposés aux essais et au contrôle des moteurs.

Les quatre chapitres suivants sont relatifs à l'équilibrage, à l'allumage, à la carburation et au refroidissement des moteurs à explosion.

Enfin, le dixième et dernier chapitre est réservé au contrôle de la fabrication en usine et à un exposé de la réglementation des essais des moteurs et des tolérances accordées dans la réception.

Bibliographie : Memento à l'usage des gradés et sapeurs du 8e régiment du Génie [2]. — Ce petit ouvrage, présenté par le lieutenant Jacob, est comme son titre l'indique un memento destiné à faciliter l'étude du règlement et à en faire bien comprendre l'esprit, il donne les notions techniques indispensables et strictement nécessaires et s'étend surtout sur la réalisation pratique des problèmes envisagés dans la télégraphie militaire. La seconde brochure ne contient que des schémas qui font comprendre et précisent les notions données dans la première brochure.

(1) Un volume, format 14 cm × 21 cm, broché, 389 pages, édité par Dunod et Pinat. Prix, 15 fr.

(2) Deux brochures 20 cm × 15 cm l'une de 184 p. contenant le texte, l'autre de 36 p. contenant 142 schémas, éditées par Despuzols, 3, rue Tison-d'Argence et 5, rue Prudent, Angoulême (Charente).

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Note sur le montage en récupération du moteur shunt à collecteur

Dans cet article M. Marius Latour rappelle, sur la base de considérations simples, les propriétés du moteur shunt à collecteur fonctionnant en récupération anciennement signalées par M. A. Blondel et plus récemment par M. Behn-Eschenburg. M. Latour propose différents perfectionnements pour améliorer le fonctionnement pratique de ce moteur au point de vue du facteur de puissance et de la commutation.

L'électrification par courant monophasé a été réalisée de la façon la plus conséquente sur les chemins de fer fédéraux suisses. Le fonctionnement du système se révèle, aux dernières nouvelles, comme un véritable succès. La raison en est essentiellement que les Suisses ont été plus judicieux que les Américains dans le choix de la fréquence et dans le choix du type de moteur. La fréquence choisie a été de 15 p : sec et le type de moteur adopté a été le moteur série à champ de commutation déphasé proportionnel au courant.

La figure 1 représente le schéma de ce type de moteur construit par la Société Oerlikon. Il comporte un enroulement d'excitation E et un enroulement de compensation C ; le champ déphasé de commutation est créé par un enroulement h branché en dérivation sur une résistance r traversée par le courant principal. Nous avons déjà publié (voir *E. T. Z.*, 1912, n° 48 et *La Lumière électrique*, 5 avril 1913, t. XXII, 2e série, p. 10) le diagramme relatif à l'alimentation de l'enroulement h suivant la figure 1. Ce diagramme permet d'établir le réglage exact du moteur au point de vue de la commutation. Nous avons montré que, à la fréquence de 15 p : sec, avec un nombre de pôles et une vitesse élevés, la perte dans la résistance r est absolument négligeable.

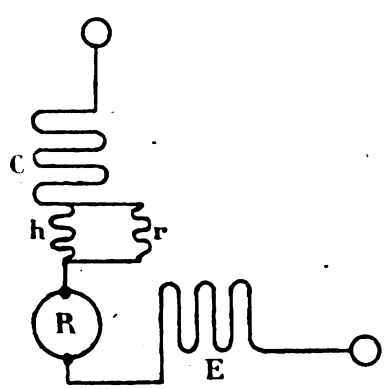


Fig. 1.

Le fonctionnement des moteurs en service courant est, d'après l'avis autorisé de M. Thury (avis que M. Thury a bien voulu nous faire connaître), *excellent* (1).

La Société Oerlikon (M. Behn-Eschenburg) acquiert aujourd'hui un nouveau titre à la reconnaissance des

(1) Nous nous permettons de rappeler les priorités respectives concernant ce type de moteur.

La Maschinenfabrik Oerlikon (M. Behn Eschenburg) a obtenu en Allemagne après examen le brevet n° 162781 de mars 1904 ; nous avons obtenu en Autriche après examen le brevet n° 23502 d'avril 1904. Ces deux brevets couvrent la disposition générale de la production d'un champ déphasé de commutation dans le moteur série. Le mode d'exécution avec résistance (fig. 1) a été donné ultérieurement par la maison Siemens-Schuckert et par nous-mêmes en 1906. Nous avons aussitôt remarqué que cette disposition possédait l'avantage de donner lieu à un champ de commutation mieux approprié aux différentes vitesses et remarqué également que les pertes étaient négligeables à 15 p : sec. Nous avons publié la théorie de cette disposition particulière dans l'*E. T. Z.* en 1912. Ainsi que M. Guilbert l'a signalé dans *La Lumière Electrique* (16 novembre 1912, p. 199), l'idée de la production d'un champ déphasé de commutation dans le moteur série est la première idée que nous ayons eu en fait de moteur à collecteur (1900-1901). Ce n'est que parce que nous nous étions rendu compte que ce champ se produisait automatiquement dans les moteurs type répulsion (compensé ou non) que, envisageant les fréquences d'utilisation alors courantes de 25 ou 50 p : sec, nous avions négligé la production artificielle d'un champ déphasé dans le moteur série. Nous sommes revenu à cette disposition après avoir considéré l'utilisation d'une basse fréquence et d'une grande vitesse périphérique pour les moteurs monophasés (avril 1904). Dans l'intervalle, nos publications sur les moteurs à collecteur (1901 à 1904) avaient rendu l'idée de la production d'un champ déphasé dans le moteur série beaucoup plus immédiate.

Digitized by Google

électriciens qui s'intéressent à la traction monophasée en reportant à nouveau leur attention sur le fonctionnement en récupération du moteur shunt à collecteur (*R. G. E.* du 7 décembre 1918, t. IV, p. 877), envisagé en 1904 par M. A. Blondel (voir *R. G. E.*, 18 janvier 1919, t. V, p. 81).

Nous avions déjà proposé en 1906 un système de récupération avec changeur de phase pour l'excitation du moteur à collecteur et transformateur série qui a fonctionné comme prévu dans la locomotive d'essai des Ateliers de Jeumont pour la Compagnie des Chemins de fer du Midi.

Ce système donnait lieu à une caractéristique shunt pour la récupération et à un facteur de puissance élevé, toutes conditions primitivement recherchées. Les ingénieurs suisses s'étaient d'abord intéressés à ce système qui conserve toute sa valeur pour bien des applications, mais la récupération à couple constant présente des avantages spéciaux au point de vue du freinage.

Nous nous proposons de reprendre ici, sous un point de vue physique très simple, la théorie du moteur shunt ordinaire à collecteur et de voir quels dispositifs il faut véritablement adjoindre à ce moteur pour un fonctionnement irréprochable.

Considérons le moteur monophasé à collecteur de la figure 2. L'enroulement d'excitation E dont la réactance

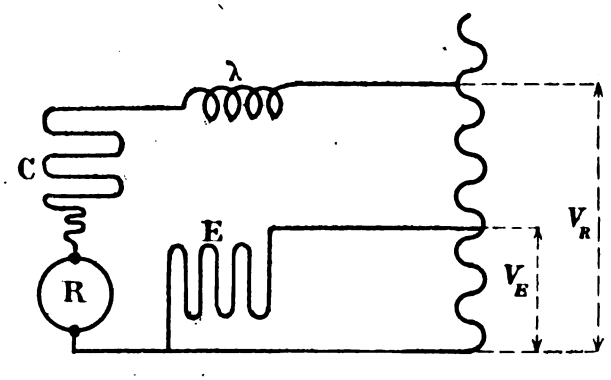


Fig. 2.

est $L\omega$ est alimenté par une tension V_E de même phase que la tension V_R qui alimente l'induit ou rotor R avec son enroulement de compensation C dont la réactance due aux fuites est $l\omega$, à travers une inductance λ de réactance $\lambda\omega$.

Au repos, l'enroulement d'excitation E et l'induit R sont traversés par des courants de même phase qui sont en quadrature avec les tensions V_E et V_R puisque ces tensions débitent sur des réactances. Les valeurs de ce courant sont respectivement

$$I_E = \frac{V_E}{L\omega} \quad \text{et} \quad I_R = \frac{V_R}{(l+\lambda)\omega}.$$

Il y a donc un couple.

Il est facile de voir que ce même couple va se maintenir quelle que soit la vitesse. En effet, lorsque le rotor tourne à la vitesse ω_1, il y a bien une tension $M\omega_1 I_E$ développée entre balais, mais cette tension, en débitant sur la réactance du rotor et de l'inductance λ, ne peut donner qu'un courant $\frac{M\omega_1 I_E}{(l+\lambda)\omega}$ en quadrature avec la tension développée et, par conséquent, en quadrature avec le flux du moteur qui l'engendre ; *ce courant ne produira donc aucun couple additionnel.* On doit considérer que la tension V_R étant équilibrée par la circulation du courant dans l'induit au repos, l'induit se trouve fermé simplement sur la réactance $(l+\lambda)\omega$ pour toute force électromotrice intérieure développée par la rotation.

Le courant engendré par la rotation étant cependant en opposition de phase avec la tension V_R rend au réseau une puissance active $\frac{M\omega_1 I_E}{(l+\lambda)\omega} V_R$ proportionnelle à la vitesse ω_1.

Il est à remarquer que l'on peut supprimer l'inductance λ sans changer les caractéristiques du moteur. Pour obtenir le même couple, il faudrait seulement appliquer une tension V_R plus faible dans le rapport $\frac{l}{l+\lambda}$, mais le courant dû à la rotation prendrait alors une valeur $\frac{l+\lambda}{l}$ fois plus grande et la puissance serait rendue au réseau sous la forme d'un fort courant et d'une tension faible. Pratiquement, le courant serait excessif pour le moteur. L'inductance λ n'intervient donc que pour jouer le rôle habituel de limiteur de courant.

Au point de vue du facteur de puissance, il est facile de voir ce qui se passe : la puissance réactive absorbée par le moteur est exactement celle qui est prise lorsque le moteur est au repos. Cette puissance comprend donc la puissance réactive prise habituellement dans un moteur série ordinaire, tant par l'excitation que par l'enroulement de compensation par suite des fuites (coefficient L et l) ; mais elle comprend également la puissance réactive prise par l'inductance λ.

On ne peut donc pas atteindre, dans le fonctionnement en récupération, le facteur de puissance obtenu dans le fonctionnement en moteur série. Le facteur de puissance est d'autant plus médiocre que l'inductance λ a une réactance plus grande et que l'on veut, par conséquent, limiter le courant dû à la rotation. C'est seulement à grande vitesse qu'on peut espérer avoir un facteur de puissance acceptable.

Comme application numérique considérons par exemple un moteur série dont le $\cos\varphi$ en régime normal est égal à 0,96. La tension appliquée aux bornes du moteur ainsi que le courant qui traverse le moteur à ce moment, étant pris comme unité, supposons que la tension se distribue de la façon suivante :

Force contre-électromotrice de l'induit, c'est-à-dire $\cos\varphi = 0{,}96$;

Force électromotrice de réactance, c'est-à-dire

Digitized by Google

sin $\varphi = 0{,}28$, dont 0,14 pour l'enroulement inducteur et 0,14 pour l'enroulement de compensation.

Dans le fonctionnement en récupération au même régime normal de couple et de vitesse, on doit supposer que la tension appliquée aux bornes de l'enroulement d'excitation est 0,14.

Si l'on veut appliquer à l'induit la tension 0,96, il faut, pour obtenir le couple normal (considérant le moteur au repos), mettre en série avec l'induit une réactance extérieure qui soit à sa réactance propre dans le rapport $\frac{0{,}96 - 0{,}14}{0{,}14}$. De cette façon, la tension 0,96 donne le courant normal unité. Ainsi la réactance extérieure doit être égale à 6 fois la réactance propre du moteur.

En vitesse le courant en quadrature dû à la rotation sera pareillement égal à l'unité et le moteur sera déjà chargé d'un courant qui sera $\sqrt{2}$ fois le courant normal.

La puissance active rendue au réseau étant exprimée par 0,96. On voit que la puissance réactive sera exprimée par $0{,}96 + 0{,}14 = 1{,}10$, au lieu de 0,28 comme dans le fonctionnement en série.

Ceci correspond à un cos φ d'environ 0,66.

Pour améliorer ce facteur de puissance et le ramener à une valeur acceptable (0,85), il faudrait supposer que l'on alimente le moteur à tension réduite 0,5 par exemple et que l'on récupère à demi-puissance seulement. Dans ce cas, tandis que la puissance active est réduite de moitié, la puissance réactive prise par le circuit de l'induit est réduite au 1/4. Mais il convient de remarquer que le courant dans l'induit est égal au courant de pleine charge.

En conséquence, nous ferons la remarque importante, suivante : non seulement la caractéristique du moteur observé par M. Blondel se maintient si on change la valeur de la réactance en série avec l'induit, mais elle se maintient encore si on change la phase du courant d'excitation d'un angle α soit par un changeur de phase, soit par tout autre moyen.

En effet, le couple que l'on peut évaluer en supposant le moteur au repos se maintient à toute vitesse, puisque le courant développé par la rotation est toujours en quadrature avec le flux. Il arrive seulement cette fois que le courant dû à la rotation contient une composante $\frac{M\omega_1 I_2}{(l+\lambda)\omega} \sin\alpha$ qui donne lieu à une puissance magnétisante $V_R \frac{M\omega_1 I_2}{(l+\lambda)\omega} \sin\alpha$ fournie par le moteur au réseau. On peut donc, par cette voie, ramener le facteur de puissance à l'unité et même faire travailler le moteur, pour de plus grandes vitesses avec φ négatif.

En déphasant ainsi le courant d'excitation du moteur, on aboutit à l'emploi d'une réactance additionnelle beaucoup plus faible. Avec un déphasage de 45° dans l'excitation et une sous-compensation du moteur donnant lieu à un coefficcient de self-induction intérieure l beaucoup plus élevé, la réactance intérieure pourrait être parfois supprimée.

Comme application numérique, nous considérerons le même moteur série que précédemment ayant

$$\cos\varphi = 0{,}96.$$

Pour avoir le couple normal, il faut, cette fois, après avoir appliqué la tension 0,14 aux bornes de l'enroulement inducteur, supposer que l'induit est traversé au repos par un courant $\sqrt{2}$ fois le courant normal, puisque le flux et le courant sont déphasés de 45°. Il faut donc disposer en série avec l'induit une réactance $\sqrt{2}$ fois plus faible que précédemment, soit $\frac{0{,}96 - 0{,}14}{0{,}14\sqrt{2}}$ fois la réactance de l'induit.

En vitesse, le courant dû à la rotation est égal pareillement à $\sqrt{2}$ fois le courant unité normal, mais il est déphasé de $90 + 45 = 135°$ par rapport au courant au repos. On obtient donc un courant résultant plus faible que chacun d'eux et égal exactement à 1,08 fois le courant normal.

La puissance réactive prise au repos est

$$0{,}14 + 0{,}96 \times \sqrt{2}.$$

Mais en vitesse le courant dû à la rotation rend une puissance réactive 0,96.

La puissance réactive effectivement prise en régime normal devient donc

$$0{,}14 + 0{,}96\,(\sqrt{2} - 1) = 0{,}52.$$

Le cos φ est cette fois

$$\frac{0{,}96}{\sqrt{0{,}96^2 + 0{,}52^2}} = 0{,}88.$$

On a ainsi un système parfaitement admissible, même pour la pleine charge et un freinage énergique.

Le courant dans l'induit est le même que précédemment pour la demi-charge.

A la demi-charge, en appliquant une tension moitié, on trouve que le moteur ne prend au total aucune puissance réactive (cos $\varphi = 1$).

Il y a là un bénéfice très important pour le fonctionnement pratique.

En dehors du facteur de puissance il y a lieu de s'inquiéter de la commutation du moteur. On doit chercher à établir au-dessus des sections en commutation un champ déphasé de 90° par rapport au champ principal, tout en maintenant le champ en phase avec le courant de l'induit destiné à assurer une parfaite commutation au point de vue courant continu.

Digitized by Google

Tout d'abord, on peut disposer la résistance qui doit donner lieu à la tension déphasée nécessaire pour alimenter l'enroulement h en série avec l'enroulement d'excitation. C'est ce que représente la figure 4. On pourrait encore, comme le propose M. Behn-Eschenburg, mettre l'enroulement C et l'enroulement h en court-circuit (voir *R. G. E.*, 7 décembre 1918, t. IV, p. 877); mais on peut se rendre compte, par une analyse plus précise, que ces dispositifs ne conviennent pas exactement.

Considérons en particulier le schéma avec résistance (fig. 3). D'après le diagramme que nous avons déjà

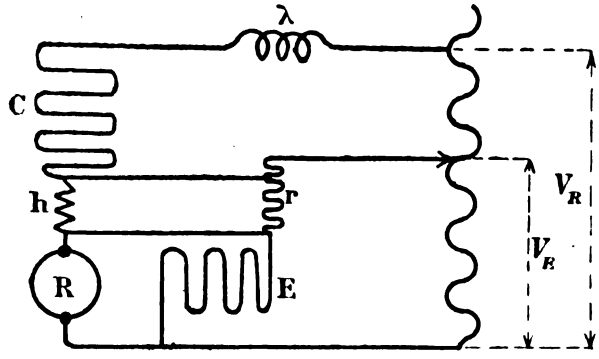


Fig. 3.

publié au sujet de l'alimentation de l'enroulement h en dérivation sur une résistance r dans le cas du moteur série, nous savons que cet enroulement h peut être traversé par un courant déphasé de 90° par rapport au courant d'excitation du champ principal, en raison même de la tension induite dans cet enroulement par le champ de commutation développé par l'enroulement C. Ce dernier champ, dans un moteur série, en phase avec le courant d'induit est aussi en phase avec le courant d'excitation. Mais dans un moteur shunt, le courant d'induit n'est pas en phase avec le courant d'excitation. Pour que le courant qui doit traverser l'enroulement h puisse alors être en quadrature avec le courant d'excitation il faut :

1° Développer artificiellement dans le circuit de l'enroulement h par le courant d'excitation même la force électromotrice qui est induite dans le moteur série par le champ de commutation proprement dit;

2° Annuler la force électromotrice induite dans le circuit de l'enroulement h la force électromotrice, parasite cette fois, qui est induite par le champ de commutation relatif à un courant d'induit déphasé par rapport au courant d'excitation.

Nous ferons en conséquence la proposition suivante :

On dispose dans le circuit de l'enroulement h (voir (fig. 5) le secondaire S d'un petit transformateur comportant deux primaires P_1 et P_2 dont l'un est traversé par le courant de l'induit et l'autre par le courant d'excitation. Le primaire traversé par le courant de l'induit annule la force électromotrice induite dans l'enroulement h par le champ de commutation proprement dit du moteur et le primaire traversé par le courant d'excitation développe la force électromotrice en quadrature avec le courant d'excitation qui est habituellement induite dans le moteur série par le champ de commuta-

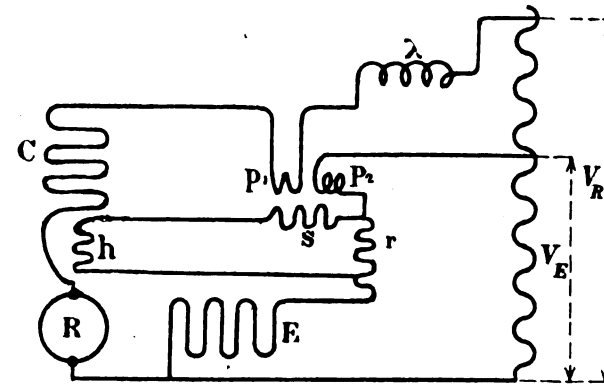


Fig. 4.

tion. De cette façon, on se trouve dans les conditions de commutation parfaite du moteur série.

Il est à considérer que le schéma de la figure 5 peut être maintenu lorsqu'on passe du couplage shunt au couplage série et qu'il y aura donc lieu de le conserver d'une façon générale aux lieu et place du montage habituel de la figure 1.

Ce schéma convient exactement quel que soit le montage adopté pour le fonctionnement en récupération.

Au schéma de la figure 4, on peut substituer celui de la figure 5; au lieu d'alimenter l'enroulement h en déri-

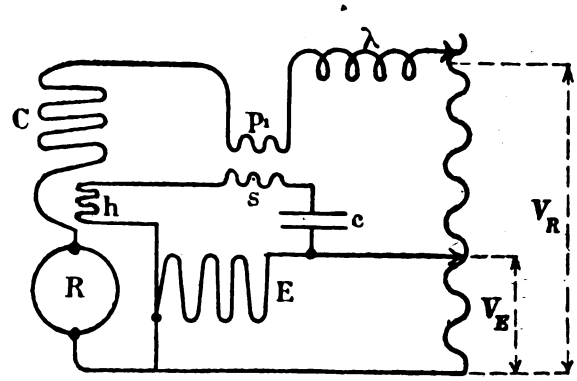


Fig. 5.

vation sur une résistance r, on alimente cet enroulement en dérivation sur l'enroulement d'excitation grâce à la

Digitized by Google

capacité c. L'introduction de capacités dans les moteurs à collecteur est une innovation. Mais elle est admissible et rigoureusement pratique lorsqu'il s'agit d'aussi faibles puissances que dans le cas de la figure 6. Cette capacité pourrait être introduite avec interposition d'un petit-transformateur élévateur de tension. La disposition deviendrait alors applicable aux fréquences de 25 et 50 p: sec sans que l'on ait à craindre les pertes excessives entraînées par l'utilisation d'une résistance.

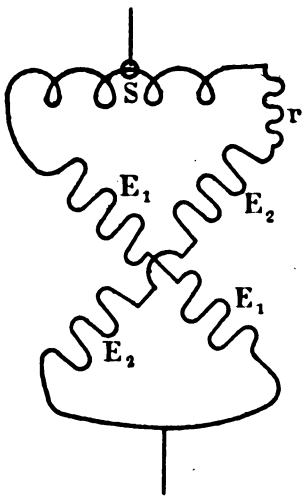


Fig. 6.

Si, pour réduire la valeur de la réactance de l'inductance λ, on entend faire de la sous-compensation dans le moteur, de façon à créer une réactance notable par le moteur même, on sera conduit, au point de vue de la commutation, à renforcer les ampère-tours de l'enroulement C dans la région même où l'on doit disposer l'enroulement h, dans ce cas, si la place vient à manquer; on peut utiliser l'enroulement même d'excitation divisé en deux bobines montées en parallèle E_1 et E_2, pour constituer l'enroulement h ainsi que nous l'avons déjà exposé dans l' « E. T. Z. », 1912, n° 48. Cette disposition est représentée schématiquement par la figure 6.

Marius LATOUR.

Note sur la courbe des coups de bélier au vannage et les lois non linéaires de fermeture et d'ouverture rapides

L'étude des coups de bélier dans les conduites sous pression a pour but la détermination des efforts maxima sur les parois des conduites en vue du calcul de leur épaisseur. Les formules de MM. Alliévi et de Sparre ont largement contribué à éclaircir les problèmes en présence. Les dernières études et les nombreux essais de MM. Camichel, Gariel et Eydoux ont ensuite démontré l'exactitude de ces formules et en particulier de celles, plus simples, de M. de Sparre. Ces dernières se prêtent tout spécialement à une étude relativement facile de l'ensemble de ces phénomènes. Dans l'article ci-dessous M. Carey s'est attaché à montrer que les courbes des coups de bélier au droit du vannage correspondent à une série de courbes types que l'on rencontrera toujours et qui définissent nettement l'allure générale du phénomène dans les conduites à caractéristique unique. Reprenant ensuite la valeur du coup de bélier maximum déterminé par la formule Michaud pour la fermeture complète en $\frac{2L}{a}$ secondes et par les formules de M. de Sparre pour des fermetures ou ouvertures lentes, M. Carey en déduit les formules des lois de fermeture et d'ouverture rapides produisant un coup de bélier donné. Ces formules, semblables à celles publiées par M. de Sparre dans la « Revue Générale de l'Electricité » du 31 mars 1917, permettent de tracer rapidement la courbe cherchée.

A côté de la détermination des maxima de surpression provoqués par les coups de bélier, nécessaire pour le calcul des conduites sous pression, il est utile, pour fixer en particulier les dimensions des volants, de se rendre compte des diverses phases du phénomène et de pouvoir tracer facilement la courbe entière de la variation de pression produite par une manœuvre du vannage, ou tout au moins connaître l'allure générale de celle-ci. Pour les conduites à caractéristique unique, c'est-à-dire de diamètre et d'épaisseur constante sur toute leur longueur et pour une loi linéaire de fermeture, ou d'ouverture, ces courbes se classent en un certain nombre de courbes-types qui peuvent être facilement déduites des formules générales de M. de Sparre. Le tracé et la forme de ces courbes sont donnés dans le premier chapitre. Le second chapitre est consacré aux lois de fermeture et d'ouverture rapides produisant un coup de bélier donné en un temps minimum. Ces lois, non linéaires, donnent une diminution importante du coup de bélier maximum calculé avec la formule Michaud pour le même temps de fermeture et avec la formule de M. de Sparre pour la même durée d'ouverture.

Digitized by Google

I. — Etude des courbes de coups de bélier au vannage.

Rappelons que les formules de M. de Sparre, que nous allons utiliser (1), donnent des résultats très exacts à condition que le coup de bélier maximum soit limité à la moitié de la charge statique.

Nous poserons :

y_0, charge statique avant tout mouvement, en mètres;

v_0, vitesse initiale de l'eau dans la conduite en mètres par seconde ;

v_1, sa vitesse au temps t;

a (2), vitesse de propagation de l'onde du coup de bélier en mètres par seconde ;

L, longueur de la conduite en mètres ;

T, temps total de fermeture du vannage en secondes;

$g = 9{,}8$, l'accélération due à la pesanteur.

Nous considérerons des fermetures linéaires, c'est-à-dire des variations de vitesses constantes par unité de temps.

A. — Fermetures. — 1. Fermeture complète en un temps plus petit ou égal a $\frac{2L}{a}$ secondes. —

Nous fermerons de la vitesse v_0 à zéro pendant le temps $\frac{2L}{a}$ secondes que met l'onde du coup de bélier pour aller à la chambre et revenir au vannage.

Sans calculer de nombreux points de la courbe du coup de bélier produit, les formules générales de M. de Sparre donnent pour l'intensité du coup de bélier au temps $\frac{2L}{a}$

$$B_1 = + \frac{a v_0}{g};$$

à la fin de la deuxième période $\frac{2L}{a}$, soit au temps $\frac{4L}{a}$, le coup de bélier sera

$$B_2 = - \frac{a v_0}{g};$$

à la fin de la troisième période $\frac{2L}{a}$, soit au temps $\frac{6L}{a}$, il sera

$$B_3 = + \frac{a v_0}{g};$$

et ainsi de suite.

La courbe du coup de bélier au vannage pour une fermeture en un temps $\frac{2L}{a}$ secondes est donc une série d'ondes tantôt positives et tantôt négatives, avec $\frac{2L}{a}$ pour période ; ces ondes ont la même valeur, car les formules fondamentales ont été établies sans tenir compte de la viscosité et du frottement. Ces deux facteurs atténuent petit à petit les oscillations, mais la perturbation produite dure très longtemps si la vanne reste hermétiquement fermée.

Nous traçons (fig. 1) une courbe type de ce cas, pour

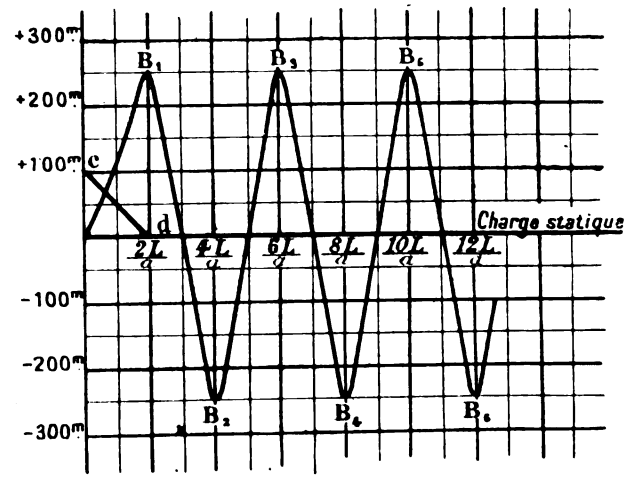


Fig. 1. — Fermeture complète c d de $v_0 = 2$ à 0 m : sec en $\frac{2L}{a}$ sec.

une conduite ayant les données suivantes : $y_0 = 500$ m, $L = 1\,200$ m, $a = 1\,200$ m : sec, $V = 4$ m : sec, $T = 4$ sec, V étant la vitesse de l'eau pour le vannage complètement ouvert et pouvant être fermé en T secondes. La période $\frac{2L}{a}$ est de 2 sec et la vitesse qui peut être ramenée à zéro pendant ce temps est $\frac{2LV}{aT} = 2$ m : sec. Nous couperons donc une vitesse de 2 m : sec en 2 sec et les ordonnées du coup de bélier, à la fin de chaque période $\frac{2L}{a}$, seront

$$B_1 = \frac{1\,200 \times 2}{9{,}8} = + 245 \text{ m};$$

$$B_2 = - 245 \text{ m};$$

$$B_3 = + 245 \text{ m},$$

et ainsi de suite. La figure 1 montre l'importante oscillation produite de part et d'autre de l'horizontale représentant la charge statique prise comme axe horizontal des temps.

Notons en passant que la valeur $\frac{av_0}{g}$ pour une fermeture complète en un temps $\frac{2L}{a}$ est donnée aussi par la formule importante Michaud-Gariel $\frac{2LV}{gT}$ pour $T \geqq \frac{2L}{a}$, en fonction de V et T, sans avoir à calculer les valeurs a et v_0.

(1) *La Houille blanche*, juillet 1905.

(2) $a = \frac{9\,900}{\sqrt{48{,}3 + K\frac{D}{e}}}$; $K = 0{,}5$ pour le fer et l'acier; D et e diamètre et épaisseur de la conduite, supposés constants.

Digitized by Google

Si au lieu de fermer pendant toute la période $\frac{2L}{a}$, que nous appellerons comme d'usage θ, nous fermons pendant une fraction de cette période, en partant d'une vitesse plus faible, la courbe prend une autre allure.

La figure 2 montre l'oscillation produite pour une fer-

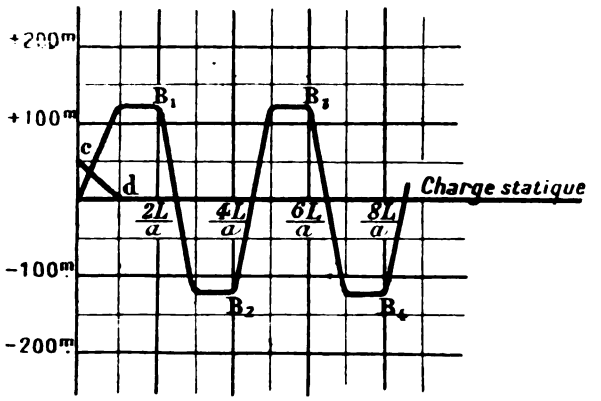


Fig. 2. — Fermeture complète c d de $v_0 = 1$ à 0 m : sec en $\frac{L}{a}$ sec.

meture de $v_0 = 1$ m : sec à zéro en une seconde $\left(\frac{\theta}{2}\right)$, avec les mêmes données que précédemment.

2. Fermetures complètes en un temps $T > \frac{2L}{a}$. — Les courbes obtenues sont complètement différentes suivant qu'il s'agit d'une haute chute avec $\frac{av_0}{2gy_0} < 1$ ou d'une basse chute avec $\frac{av_0}{2gy_0} > 1$.

Premier cas, $\frac{av_0}{2gy_0} < 1$. — *Hautes chutes.* — Pour une fermeture en un temps $T > \frac{2L}{a}$, appelée fermeture lente, la courbe du coup de bélier présente toujours son maximum à la fin de la première période de fermeture au temps θ ; elle présente ensuite un minimum au temps 2θ, puis remonte au temps 3θ, descend à 4θ et ainsi de suite, formant une série d'ondes comprises, tant que dure le mouvement de fermeture, entre les valeurs B_1, au temps θ et B_2 au temps 2θ. Toutes ces valeurs sont positives tant que la fermeture complète n'est pas effectuée.

La valeur maximum B_1 est donnée par

$$B_1 = \frac{a}{g}\frac{v_0 - v_1}{1 + rv_1} \quad \text{en posant} \quad r = \frac{a}{2gy_0},$$

ou en fonction de V et T

$$B_1 = \frac{2LV}{gT}\frac{1}{1 + \frac{aV}{2gy_0} - \frac{LV}{gTy_0}},$$

et la valeur minimum B_2 par

$$B_2 = \frac{a}{g}\frac{v_1 - v_2}{1 + rv_2} - B_1\frac{1 - rv_1}{1 + rv_2},$$

v_2 étant la vitesse au temps 2θ, sans tenir compte du coup de bélier.

Une fois la vanne arrêtée au temps nθ nous aurons à la fin de la période n

$$B_n = \frac{a}{g}v_{n-1} - B_{n-1}(1 - rv_{n-1}),$$

puis à la fin de la période $(n+1)$:

$$B_{n+1} = -B_n,$$

puis

$$B_{n+2} = -B_{n+1} = +B_n,$$

puis

$$B_{n+3} = -B_n \text{ et ainsi de suite.}$$

Nous traçons, figure 3, la courbe du coup de bélier de fermeture pour la conduite suivante

$$y_0 = 510 \text{ m}, \quad L = 1200 \text{ m}, \quad a = 1200 \text{ m : s},$$
$$v = 6 \text{ m : s}, \quad T = 8 \text{ sec}.$$

En effectuant la fermeture de $V = 6$ m : sec à 0 en

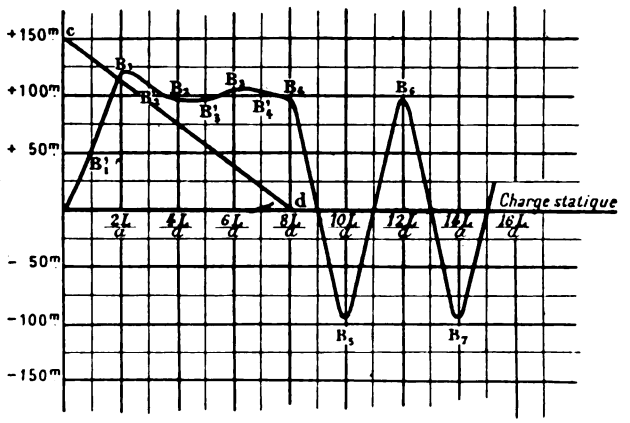


Fig. 3. — Fermeture complète c d, de $V_0 = 6$ à 0 m : sec en 8 sec ; $T > \frac{2L}{a}$; $\frac{av_0}{2gy_0} < 1$ (hautes chutes).

$T = 8$ sec, soit en 4 périodes, θ étant égal à 2 sec, nous aurons

$$B_1 = 119{,}30 \text{ m}, \qquad B_4 = 98{,}22 \text{ m},$$
$$B_2 = 94{,}75 \text{ m}, \qquad B_5 = -98{,}22 \text{ m},$$
$$B_3 = 104{,}31 \text{ m}, \qquad B_6 = +98{,}22 \text{ m},$$

et ainsi de suite.

On remarque nettement que les oscillations restent comprises entre le maximum B_1 et le minimum B_2, mais dès l'arrêt de la vanne, le mouvement devient oscillatoire

Digitized by Google

de part et d'autre de la ligne de charge statique y_0, prise pour axe des temps; ces oscillations sont maxima pour la fermeture complète en un temps $\frac{2L}{a}$ et minima lorsque cette fermeture a lieu en un temps $\frac{4L}{a}$ (fig. 3 *bis*); pour

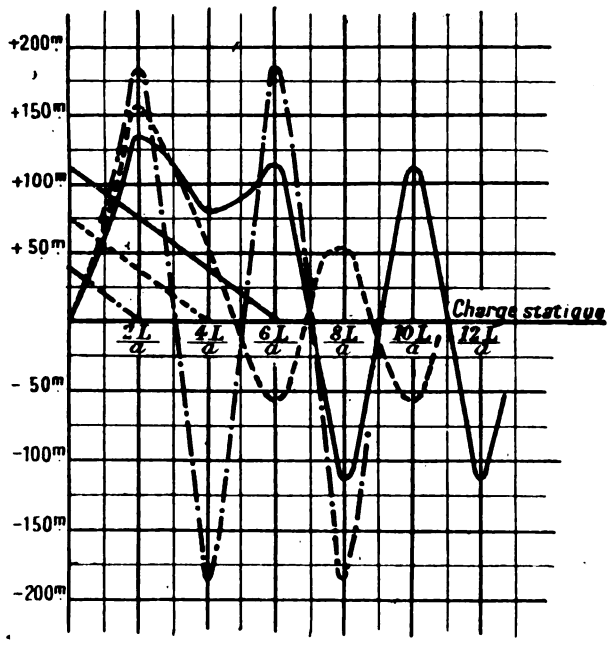


Fig. 3*bis*. — Fermeture complète $T > \frac{2L}{a}$; $\frac{av_0}{2gy_0} < 1$ (hautes chutes) de $V = 4{,}50$ à 0 m : sec en 6 sec.
de $V = 3{,}00$ à 0 m : sec en 4 sec.
de $V = 1{,}50$ à 0 m : sec en 2 sec.

d'autres fermetures les oscillations sont comprises entre ces limites.

Les différences $B_1 - B_2$; $B_2 - B_3$ sont d'autant plus importantes que $\frac{av_0}{2gy_0}$ est petit, c'est-à-dire que y_0 est grand par rapport à L, v_0 restant constant; ces différences seront maxima pour une conduite verticale avec $y_0 = L$.

Pour mettre en évidence l'importance du coup de bélier d'une petite fermeture, fermeture effectuée avec la même vitesse $\frac{T}{1}$, nous avons tracé sur la figure 3 *bis* les courbes du coup de bélier pour diverses fermetures complètes et en particulier celle effectuée au temps 0, soit de $v_0 = 1{,}5$ m : sec à 0 en 2 sec; le coup de bélier produit est 183,75 m. C'est une augmentation de 64,45 m, (54 pour 100 environ) sur le coup de bélier de fermeture en 8 sec, à partir de $V = 6$ m : sec (fig. 3).

Deuxième cas, $\frac{av_0}{2gy_0} = 1$. — C'est le cas intermédiaire entre les hautes et les basses chutes qu'il est intéressant de signaler en passant, car les valeurs B_1, B_2, B_3 ... deviennent toutes égales jusqu'au moment de la fermeture complète. La ligne $B_1 - B_3$ .... n'est cependant pas une droite, car le coup de bélier dépasse légèrement la valeur de B_1 entre B_1 et B_2, descend un peu en dessous de B_2 entre B_2 et B_3; mais ces oscillations sont très faibles, comme le montre la figure 4 tracée avec les

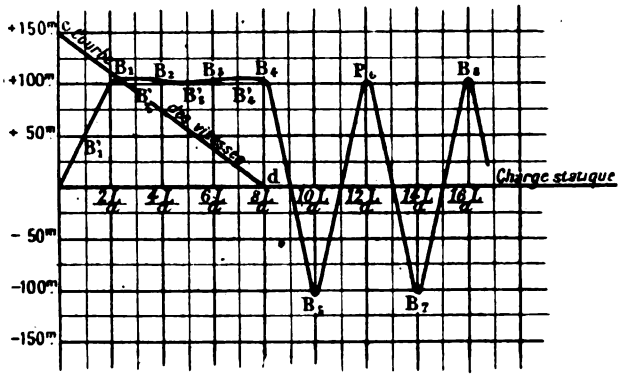


Fig. 4. — Fermeture complète c d de $V_0 = 6$ à 0 m : sec en 8 sec; $T > \frac{2L}{a}$; $\frac{av_0}{2gy_0} = 1$.

mêmes données que précédemment en ramenant toutefois la chute à $y_0 = 367{,}35$ m pour avoir

$$\frac{av_0}{2gy_0} = 1.$$

Troisième cas, $\frac{av_0}{2gy_0} > 1$. — *Basses chutes* — Les formules générales montrent que le coup de bélier continue à croître jusqu'au moment où $\frac{av_0}{2gy_0}$ devient égal à 1. Le maximum est donné par

$$B_n = \frac{a}{g}\frac{v_{n-1} - v_n}{1 + \frac{av_n}{2gy_0}},$$

dans laquelle

$$\frac{av_{n-1}}{2gy_0} = 1 \quad \text{et} \quad v_n = \frac{2gy_0}{a} - \frac{2LV}{aT},$$

et la valeur de B_n pourra s'écrire

$$B_n = \frac{2LV}{gT}\frac{1}{2 - \frac{LV}{gTy_0}}.$$

Prenons la conduite : $y_0 = 120$ m, $L = 1200$ m, $a = 1200$ m et effectuons la fermeture de $V = 6$ m : sec à 0 en 15 sec; nous obtiendrons la courbe de la figure 5 qui montre nettement le caractère régulier des courbes pour fermetures lentes dans les basses chutes; sans oscillations, la pression monte graduellement pour

Digitized by Google

atteindre son maximum un peu avant la fermeture complète. Une fois la fermeture effectuée, nous retrouvons toujours des oscillations égales positives et négatives, comme dans les hautes chutes.

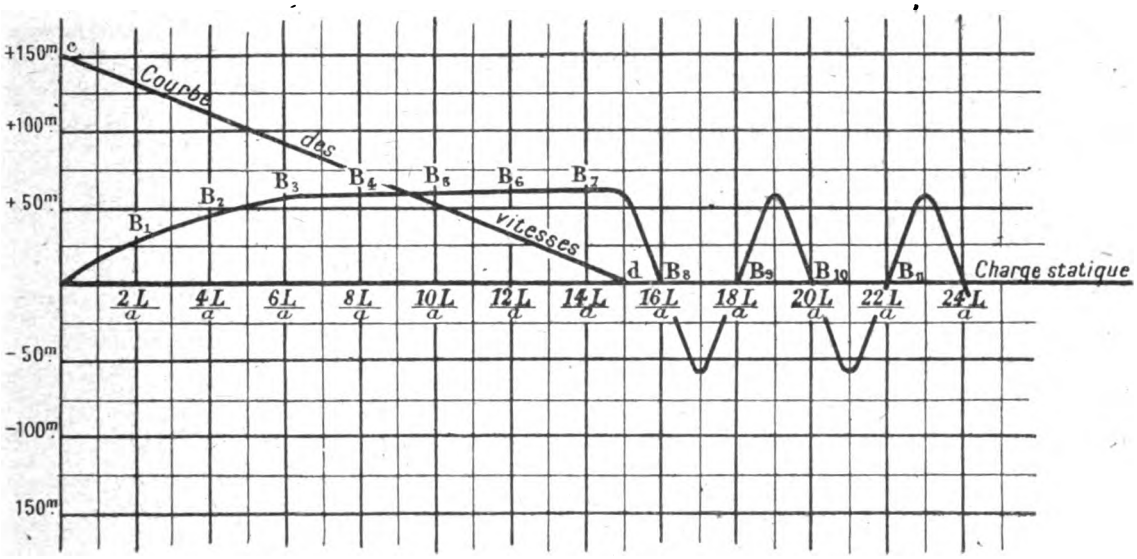


Fig 5. — Fermeture complète c d de $V_0 = 6$ à 0 m : sec en 15 sec ; $T > \frac{2L}{a}$; $\frac{av_0}{2gy_0} > 1$ (basses chutes).

3. FERMETURES PARTIELLES. — Si, partant d'une vitesse V, nous fermons la vanne en l'arrêtant au temps $t > \frac{2L}{a}$, à la vitesse V_f, nous aurons, jusqu'à ce moment, un coup de bélier qui se calculera comme pour la fermeture complète et la courbe sera, jusqu'au temps t, celle que nous venons d'étudier.

Dès l'arrêt de la vanne, la courbe se modifie sensiblement ; les oscillations que nous avons vu se produire après la fermeture complète se forment encore, mais s'atténuent très rapidement.

En arrêtant le mouvement de la vanne à la fin de la $n^{ième}$ période, nous aurons à la fin de la $(n+1)^{ième}$ période : $v_{n+1} = v_n$ et

$$B_{n+1} = -B_n \frac{1 - rv_n}{1 + rv_n}.$$

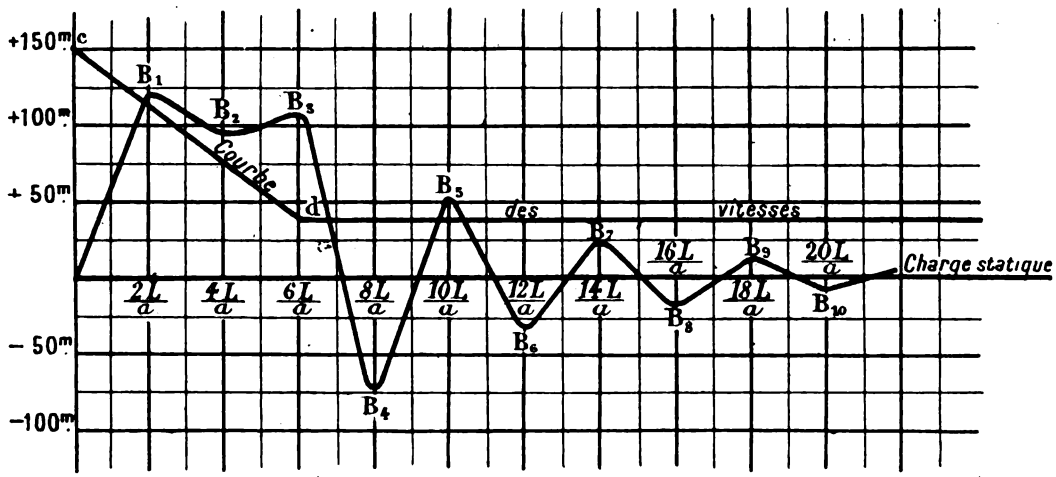


Fig. 6. — Fermeture partielle c d de $V = 6$ m : sec à $V_f = 1{,}50$ m : sec en 6 sec ; $\frac{aV_f}{2gy_0} < 1$ (hautes chutes).

Les oscillations sont amorties par le terme $\frac{1 - rv_n}{1 + rv_n}$ d'autant plus rapidement que rv_n se rapprochera de l'unité.

Nous aurons trois cas particuliers :

$rv_n < 1$; les valeurs B_{n+1} et suivantes sont alternativement *positives et négatives*, elles sont maxima avec rv_n très petit.

Digitized by Google

$rv_n = 1$. Les valeurs B_{n+1} et suivantes sont *nulles* et le coup de bélier est complètement amorti.

$rv_n > 1$. Les valeurs B_{n+1} et suivantes *restent positives*.

Ces deux derniers cas ne peuvent pas se produire dans les hautes chutes, rv_n restant constamment < 1.

Reprenons les données de la figure 3 et fermons de $V = 6$ m : sec à $V_f = 1{,}50$ m : sec en 6 sec; nous aurons la courbe de la figure 6, qui est la même que celle de la figure 3, dans les trois premières périodes; à partir de la 4e période, les oscillations sont amorties par le terme $\frac{1 - rv_n}{1 + rv_n} = 0{,}695$.

Prenons $y_0 = 245$ m, $L = 1200$ m, $a = 1200$ mm, $V = 6$ m : sec, $T = 8$ sec et fermons de $V = 6$ m : sec à $V_f = 4$ m : sec, vitesse pour laquelle $rV_f = 1$, nous obtiendrons la courbe caractéristique de la figure 7 qui

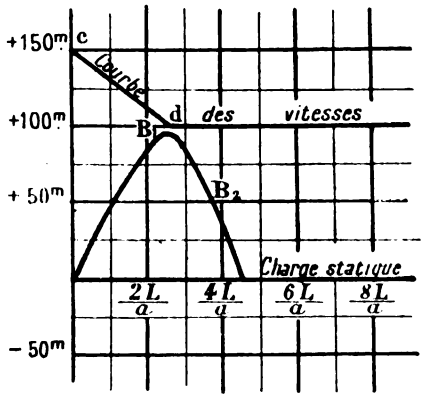


Fig. 7. — Fermeture partielle cd de $V = 6$ à $V_f = 4$ m:sec en 2,67 sec; $\frac{aV_f}{2gy_0} = 1$.

ne présente aucune oscillation après l'arrêt de la vanne.

Pour avoir le cas $rv_n > 1$ avec les données précédentes, arrêtons la vanne à $V_f = 4{,}50$ m : sec en commençant la fermeture à $V = 6$ m : sec. Nous obtenons la courbe de la figure 8 n'ayant pas d'ondes négatives.

B. — **Ouvertures.** — 1. Ouverture a partir de la vanne complètement fermée. — Le coup de bélier maximum pour les ouvertures a toujours lieu à la fin de la première période, au temps $\frac{2L}{a}$. Ce maximum est donné, pour l'ouverture à partir de la vanne fermée ($v_0 = 0$) par

$$B = -\frac{a}{g}\frac{v_1}{1 + rv_1}$$

Cette formule peut s'écrire

$$B = -\frac{2LV_f}{gT}\frac{1}{1 + \frac{LV_f}{g.T.y_0}},$$

V_f étant la vitesse à la fin de l'ouverture effectuée en un temps $T > \frac{2L}{a}$.

Une fois le mouvement d'ouverture arrêté, nous aurons à la fin de la période suivante

$$B_n = B_{n-1}\frac{1 - rv_n}{1 + rv_n}$$

et ainsi de suite

Nous retrouvons un résultat semblable à celui des fermetures partielles :

Si $rv_n < 1$, les oscillations qui suivent l'arrêt de la vanne sont alternativement positives et négatives.

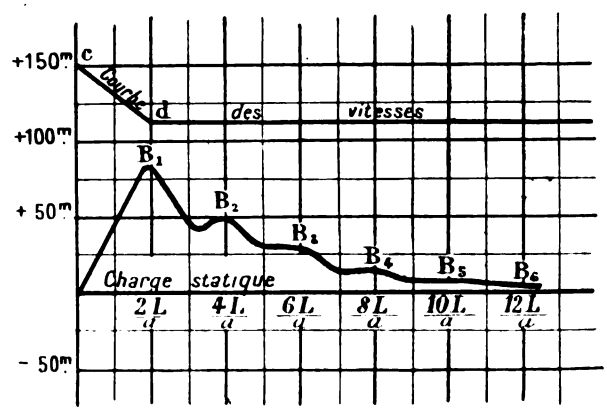


Fig. 8. — Fermeture partielle cd de $V = 6$ à $V_f = 4{,}50$ m : sec en $\frac{2L}{a}$ sec; $\frac{aV_f}{2gy_0} > 1$ (basses chutes).

Si $rv_n = 1$, il n'y a pas d'oscillations.

Si $rv_n > 1$, la courbe reste négative.

Nous tracerons maintenant quelques courbes types de coup de bélier d'ouverture.

Prenons d'abord une haute chute : $y_0 = 500$ m,

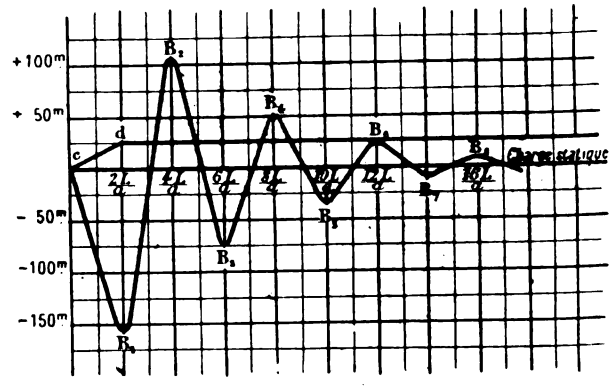


Fig. 9. — Ouverture cd de $V_0 = 0$ à $V_f = 1{,}50$ m : sec en $\frac{2L}{a}$ sec, avec arrêt de la vanne à la fin de la première période.

$L = 1200$ m, $a = 1200$ m : sec, $V_f = 4{,}5$ m : sec, $T = 6$ sec, $r = 0{,}1225$.

Digitized by Google

Ouvrons à partir de la vanne fermée jusqu'à la fin de la première période, soit jusqu'à $V_f = 1{,}5$ m : sec; nous aurons la courbe de la figure 9. C'est le cas qui produit le coup de bélier positif maximum, au temps $\frac{4L}{a}$, consécutif à la dépression du temps $\frac{2L}{a}$. La figure montre nettement l'influence du terme $\frac{1 - rv_n}{1 + rv_n}$ après l'arrêt de la

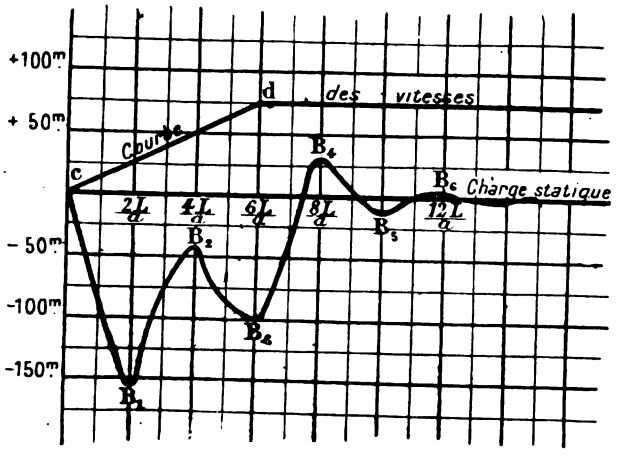


Fig. 10. — Ouverture c d de $V_0 = 0$ à $V_f = 4{,}50$ m : sec en 6 sec; $\frac{aV_f}{2gy_0} < 1$ (hautes chutes).

vanne, qui atténue rapidement les oscillations produites par le coup de bélier d'ouverture.

En gardant les mêmes données, effectuons une ouverture de $V_1 = 0$ à $V_f = 4{,}5$ m : sec en 6 sec, nous aurons (fig. 10) la courbe d'un coup de bélier de haute chute

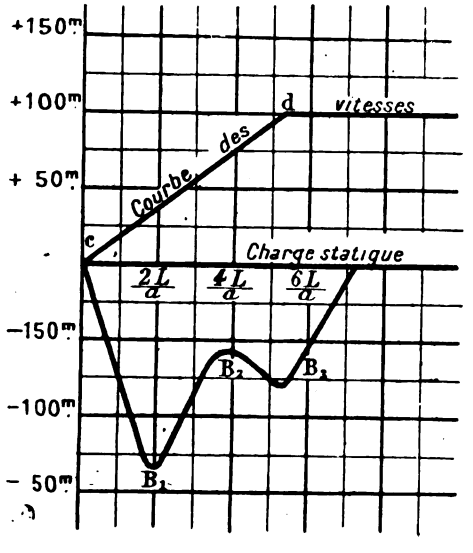


Fig. 11. — Ouverture c d de $V_0 = 0$ à $V_f = 4$ m : sec en 5,33 sec; $\frac{aV_f}{2gy_0} = 1$.

avec $rV_f < 1$; on remarque que la valeur de B est la même que celle de la figure précédente et que la courbe reste négative tant que le mouvement d'ouverture n'est pas terminé.

Prenons maintenant une chute moyenne, ou « basse chute », avec : $y_0 = 245$ m, $L = 1\,200$ m, $a = 1\,200$ m : sec, $V_f = 7{,}50$ m : sec et $T = 10$ sec.

Partant de la vanne fermée, arrêtons l'ouverture de manière que $rv_n = 1$, soit à $V_f = 4$ m : sec; nous aurons la courbe caractéristique de la figure 11.

Avec les mêmes données poussons l'ouverture jusqu'à $V_f = 7{,}5$ m : sec ; nous aurons $rv_n > 1$ et la courbe restera négative, même après l'arrêt de la vanne (fig. 12).

Toutes ces courbes (fig. 9 à 12) montrent nettement

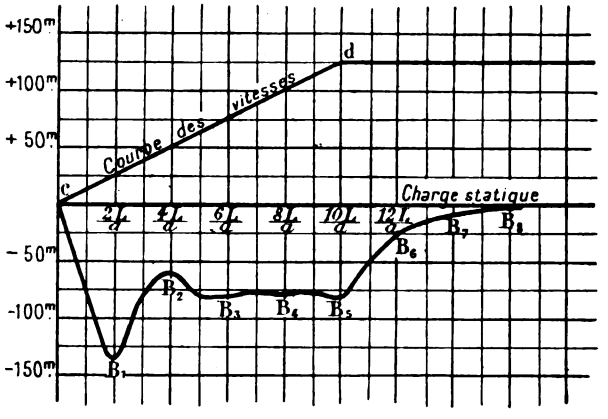


Fig. 12. — Ouverture c d de $V_0 = 0$ à $V_f = 7{,}50$ m : sec en 10 sec; $\frac{aV_0}{2gy_0} > 1$ (basses chutes).

que le maximum du coup de bélier négatif a lieu au temps $\frac{2L}{a}$.

2. Ouverture a partir d'une ouverture préexistante. — Ces courbes sont semblables aux précédentes, mais d'autant moins accentuées que la vitesse v_0 préexistante est plus forte. Cependant 2 cas sont intéressants ; l'un avec ouverture préexistante $v_0 = \frac{2gy_0}{a}$ (fig. 12bis) et l'autre avec $v_0 > \frac{2gy_0}{a}$ (fig. 12ter).

C. **Cas particuliers.** — Ouverture immédiatement suivie d'une fermeture. — Nous entrons avec ce cas dans la première phase du phénomène de résonance ; sans vouloir répéter plusieurs fois le mouvement d'ouverture et de fermeture, ce qui augmenterait beaucoup les surpressions et dépressions dans la conduite, nous voulons montrer que la simple ouverture en un temps $\frac{2L}{a}$, immédiatement suivie d'une fermeture pendant une durée semblable, augmente le coup de bélier positif de plus de 60 pour 100.

Digitized by Google

Nous aurons en effet à la fin de la première période, vanne ouverte,

$$B_1 = -\frac{a}{g}\frac{v_1}{1 + rv_1},$$

et à la fin de la deuxième période, vanne fermée,

$$B_2 = \frac{a}{g} v_1 \frac{2}{(1 + rv_1)},$$

puis $B_3 = -B_2$ et ainsi de suite.

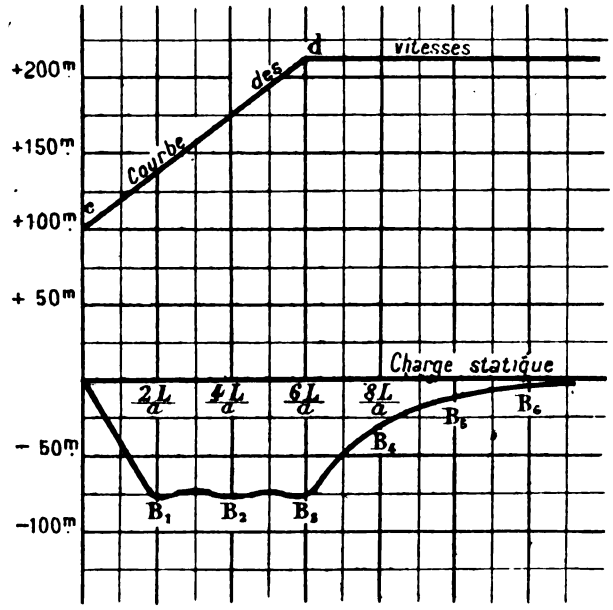


Fig. 12bis. — Ouverture partielle c d de $V_0 = 4$ à $V_f = 8{,}50$ m:sec en 6 sec; $\frac{aV_0}{2gy_0} = 1$.

Le coup de bélier maximum de fermeture $\frac{av_1}{g}$ se trouve multiplié par: $\frac{2}{1 + rv_1}$; il tendra à être doublé si rv_1 est très petit. Si nous limitons le coup de bélier maximum à $\frac{y_0}{2}$, rv_1 devra être $< \frac{1}{4}$; il en résulte que $\frac{av_1}{g}$ sera au moins augmenté de 60 pour 100 par cette simple manœuvre d'ouverture, immédiatement suivie d'une fermeture.

La vanne restant fermée, la dépression B_3 au temps $\frac{6L}{a}$ aura la même valeur absolue que la surpression B_2.

Nous traçons figure 13 la courbe produite dans ce cas avec les données suivantes

$y_0 = 510$, m $L = 1\,200$ m, $a = 1\,200$ m : sec $V = 6$ m : sec $T = 8$ sec; effectuons l'ouverture de zéro à 1,50 m : sec, puis une fermeture de 1,50 à zéro m : sec le tout en 4 sec. nous trouvons : $r = 0{,}12$, $rv_1 = 0{,}18$

$$B_1 = -155 \text{ m}, \quad B_2 = +312 \text{ m},$$

or $\frac{av_1}{g} = 183{,}75$ m, l'augmentation est donc ici de 70 pour 100 environ.

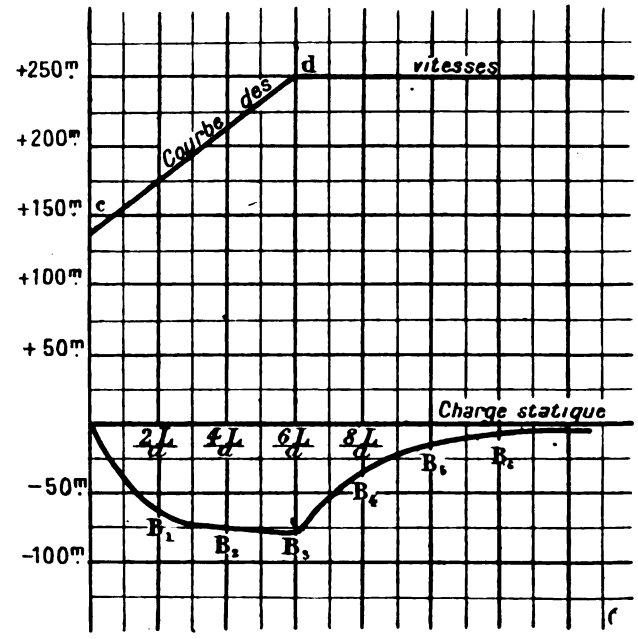


Fig. 12ter. — Ouverture partielle c d de $V_0 = 5{,}50$ à $V = 10$ m:sec en 6 sec; $\frac{aV_0}{2gy_0} > 1$.

Fermeture immédiatement suivie d'une ouverture. — Nous admettrons qu'à la fin de la première période

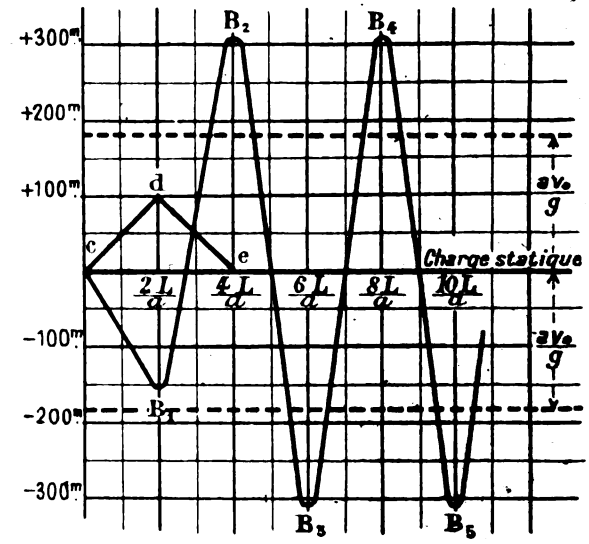


Fig. 13. — Ouverture c d de $V_0 = 0$ à $V = 1{,}50$ m : sec en $\frac{2L}{a} = 2$ sec, immédiatement suivief d'une ermeture d, e, de $V_1 = 1{,}50$ à $V_2 = 0$ m : sec en $\frac{2L}{a} = 2$ secondes.

Digitized by Google

la fermeture soit complète et nous aurons à ce moment

$$B_1 = \frac{a v_0}{g},$$

à la fin de la deuxième période la vanne étant ouverte ($v_0 = v_1$) le coup de bélier sera

$$B_2 = -\frac{a}{g} v_0 \frac{2}{1 + r v_0}.$$

La dépression est, comme dans le cas précédent, multipliée par $\frac{2}{1 + r v_0}$; si nous admettons que la dépression maximum $-\frac{a v_0}{g}$ ne dépasse pas $\frac{y_0}{2}$, $r v_0$ sera $< \frac{1}{4}$ et la dépression B_2 sera majorée de 60 pour 100 au moins.

Avec les données de la figure 13, en fermant de $V_0 = 1{,}5$ m : sec à zéro en 2 sec, pour rouvrir de zéro à $v_2 = V_0 = 1{,}5$ m : sec à la fin de la quatrième seconde, nous aurons

$$B_1 = 183{,}75 \text{ m}, \quad B_2 = -312 \text{ m}, \quad B_3 = +312 \text{ m},$$

soit encore une augmentation de 70 pour 100 environ sur la dépression $-\frac{a v_0}{g} = -183{,}75$, qui aurait été produite par l'ouverture non précédée d'une fermeture.

La vanne restant ouverte, les oscillations sont rapidement amorties (fig 14) et la surpression B_3 au temps $\frac{6L}{a}$ n'est plus augmentée que de 18 pour 100 environ par rapport à B_1.

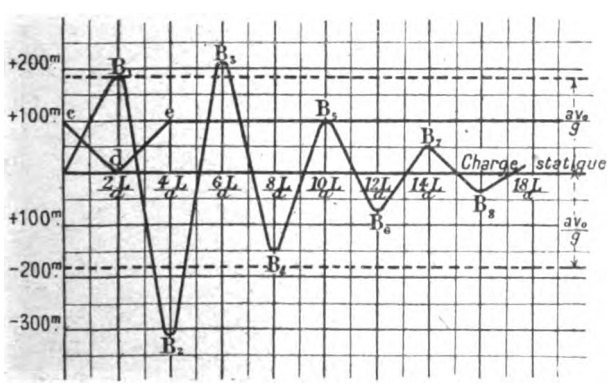


Fig. 14. — Fermeture c d de $V_0 = 1{,}50$ à $V = 0$ m : sec en $\frac{2L}{a} = 2$ sec, immédiatement suivie d'une ouverture d, e, de $V_1 = 0$ à $V_2 = 1{,}50$ m : sec en $\frac{2L}{a} = 2$ secondes.

Pour atténuer l'importante augmentation du coup de bélier de fermeture causée par une manœuvre d'ouverture précédant immédiatement la fermeture, M. Gariel propose de diminuer la vitesse d'ouverture. Nous pouvons évidemment choisir une loi d'ouverture à vitesse lente, à partir de la vanne fermée, qui diminuera sensiblement la surpression produite par la fermeture complète qui suit le mouvement d'ouverture; cette disposition peut être très utile.

En supposant donc une vitesse préexistante v_0, et en considérant toujours le mouvement complet effectué en deux périodes, nous aurons à la fin de la première période d'ouverture une vitesse v_1 et à la fin de la deuxième période, consacrée à la fermeture totale, une vitesse $v_2 = 0$.

Dans ce cas, le coup de bélier maximum à la fin de la deuxième période sera

$$B_2 = \frac{a}{g} v_1 + \frac{a}{g} (v_1 - v_0) \frac{1 - r v_1}{1 + r v_1}.$$

Pour une fermeture linéaire la vitesse v_1 sera

$$v_1 = \frac{2LV}{aT}.$$

En admettant dans notre exemple précédent que la vitesse d'ouverture dans les premières périodes est la moitié de celle de fermeture, nous aurons : $v_0 = 0{,}75$ m : sec, $v_1 = 1{,}5$ m : sec et $v_2 = 0$; les valeurs de B_1, B_2, B_3 seront alors

$$B_1 = -77{,}50,$$
$$B_2 = +247{,}50,$$
$$B_3 = -247{,}50.$$

L'effort maximum n'est plus que de 34,5 pour 100 par rapport à $\frac{a v_0}{g} = 183{,}75$.

II. Lois de fermeture et d'ouverture rapides.

A. — **Fermeture.** — 1. Loi de fermeture rapide produisant un coup de bélier donné. — Il est actuellement démontré que dans les endroits à caractéristique unique, le coup de bélier maximum de fermeture a toujours lieu pour une fermeture en un temps égal à $\frac{2L}{a}$ et que toutes les autres fermetures effectuées en un temps plus long donnent des coups de bélier inférieurs. En utilisant une loi linéaire de fermeture il faudra que le temps de fermeture soit

$$T = \frac{2LV}{g y_0} n,$$

pour que le coup de bélier maximum de fermeture reste $\frac{y_0}{n}$. Pour des fermetures lentes, effectuées en plusieurs périodes, nous pourrons augmenter la rapidité de fermeture à condition toutefois de toujours maintenir la rapidité $\frac{V}{T}$ pendant la dernière période, aboutissant à la fermeture complète, pour que le coup de bélier $\frac{a v_0}{g}$ reste égal à $\frac{y_0}{n}$.

Digitized by Google

Nous aurons des lois de fermeture différentes pour les hautes chutes et pour les basses chutes.

Premier cas, $\frac{aV_0}{2gy_0} < 1$. — *Hautes chutes.* — Nous savons que pour les fermetures lentes le coup de bélier maximum est toujours donné, dans ce cas, à la fin de la première période de fermeture; il faudra donc qu'en partant de n'importe quelle ouverture ce maximum ne dépasse pas $\frac{y_0}{n}$.

Nous calculerons la vitesse qui peut être admise à la fin de chaque période pour satisfaire à cette condition.

Nous poserons donc, à la fin de la première période partant de la pleine ouverture V,

$$\frac{a}{g}\frac{V - V_1}{1 + rV_1} = \frac{y_0}{n},\ r = \frac{a}{2gy_0},$$

d'où

$$V_1 = V\frac{2n}{2n+1} - \frac{1}{r(2n+1)};$$

si nous commencons la fermeture à partir de V_1, il faudra pour que le coup de bélier reste $\frac{y_0}{n}$ que V_2 soit, au temps 2θ,

$$V_2 = V_1\frac{2n}{2n+1} - \frac{1}{r(2n+1)},$$

$$V_p = V_{p-1}\frac{2n}{2n+1} - \frac{1}{r(2n+1)},$$

et ainsi de suite.

La dernière période, aboutissant à la fermeture complète, doit être affectuée avec la rapidité $\frac{V}{T}$, à partir de la vitesse $v = \frac{2LV}{aT}$, pour que le coup de bélier correspondant soit $\frac{y_0}{n}$; cette vitesse v est généralement comprise entre deux vitesses V_p et V_{p+1} aux temps $p\theta$ et $(p+1)\theta$.

Nous aurons (fig. 15)

$$\frac{V_p - V_{p-1}}{\theta} = \frac{v - V_{p+1}}{x},$$

d'où

$$x = \frac{\theta(v - V_{p+1})}{V_p - V_{p+1}},$$

et le temps de fermeture total sera

$$T' = (p+1)\theta - x + \theta = (p+2)\theta - x.$$

Portons (fig. 16) sur l'axe horizontal des temps les valeurs $0, 2\theta \ldots p\theta, (p+1)\theta$ et en ordonnées les vitesses $V_1, V_2 \ldots, V_p, V_{p+1}$.

En joignant le point V, sur l'axe vertical au temps zéro, avec les points $V_1, V_2 \ldots V_p, v$ (situé sur la ligne V_p à V_{p+1}) et T', nous aurons la courbe des vitesses théoriques qui doivent être obtenues dans la conduite

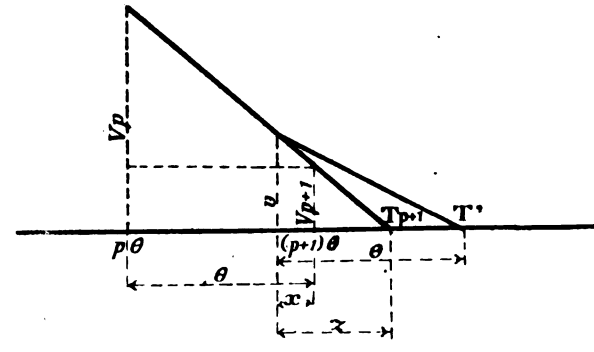


Fig. 15.

au temps correspondant, par le mouvement de fermeture de la vanne.

Calculons comme exemple numérique la courbe de la figure 16, qui est tracée avec les données suivantes :

$y_0 = 500$ m, $L = 1\,200$ m, $a = 1\,200$ m : sec, $V = 6$ m : sec, $g = 9{,}8$ et fixons le coup de bélier maximum à 30 m.

$\theta = 2$ secondes, $r = 0{,}1225$, en outre, $n = \frac{120}{20} = 4$.

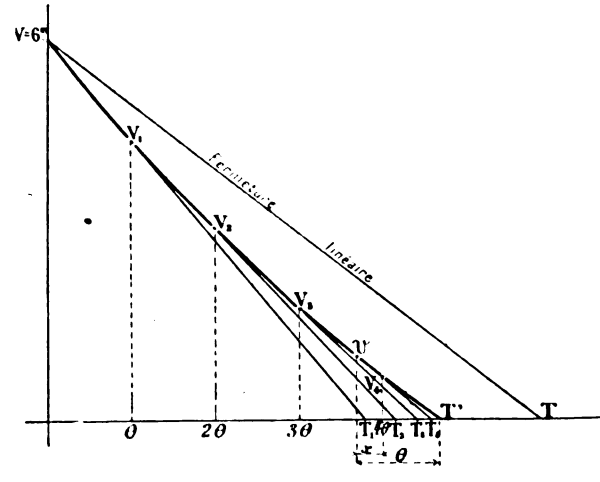


Fig. 16. — Courbe des vitesses pour fermeture rapide sans augmentation du coup de bélier; $\frac{aV}{2gy_0} < 1$ (hautes chutes).

Avec une loi linéaire de fermeture il faudra un temps de fermeture

$$T = \frac{2LV}{gy_0}n = 11{,}75 \text{ secondes.}$$

En choisissant une loi rapide nous aurons

Ordonnée au temps o : $V = 6$ m : sec.

Ordonnée au temps θ : $V_1 = 6\frac{8}{9} - \frac{1}{0{,}1225 \times 9} = 4{,}43$ m : sec,

Digitized by Google

Ordonnée au temps 2θ : $V_2 = 4{,}43 \times \frac{8}{9} - 0{,}907 = 3{,}03$ m : sec,

Ordonnée au temps 3θ : $V_3 = 1{,}78$ m : sec,

Ordonnée au temps 4θ : $V_4 = 0{,}68$ m : sec ;

la vitesse de fermeture de la dernière période θ doit être

$$v = 2\,\frac{6}{11{,}75} = 1{,}02 \text{ m : sec},$$

elle est comprise entre V_3 et V_4 ; donc $p = 3$; nous aurons

$$x = 2\,\frac{1{,}02 - 0{,}68}{1{,}78 - 0{,}68} = 0{,}62 \text{ m}.$$

Le temps total de fermeture sera

$$T' = (3 + 2)\,2 - 0{,}62 = 9{,}38 \text{ secondes}.$$

La courbe de fermeture rapide est donnée par les points V, V_1 V_2 V_3 v et T'.

En commençant la fermeture de l'une quelconque des vitesses de cette courbe, le coup de bélier maximum ne dépassera pas 30 m.

L'économie du temps de fermeture dans cet exemple est $11{,}75 - 9{,}38 = 2{,}37$ secondes, soit 20 pour 100.

Deuxième cas, $\frac{av_0}{2gy^0} > 1$. — *Basses chutes.* — La marche du calcul est la même, mais il faut remarquer que la courbe des vitesses de fermeture comprendra deux parties distinctes. La première pendant laquelle les vitesses de fermeture sont telles que $\frac{av}{2gy_0}$ est > 1, la seconde pour des vitesses de fermeture plus petites et rentrant dans le cas $\frac{av}{2gy_0} < 1$ que nous venons d'étudier.

Pendant la première partie nous savons que le coup de bélier maximum est constant ; la loi de fermeture

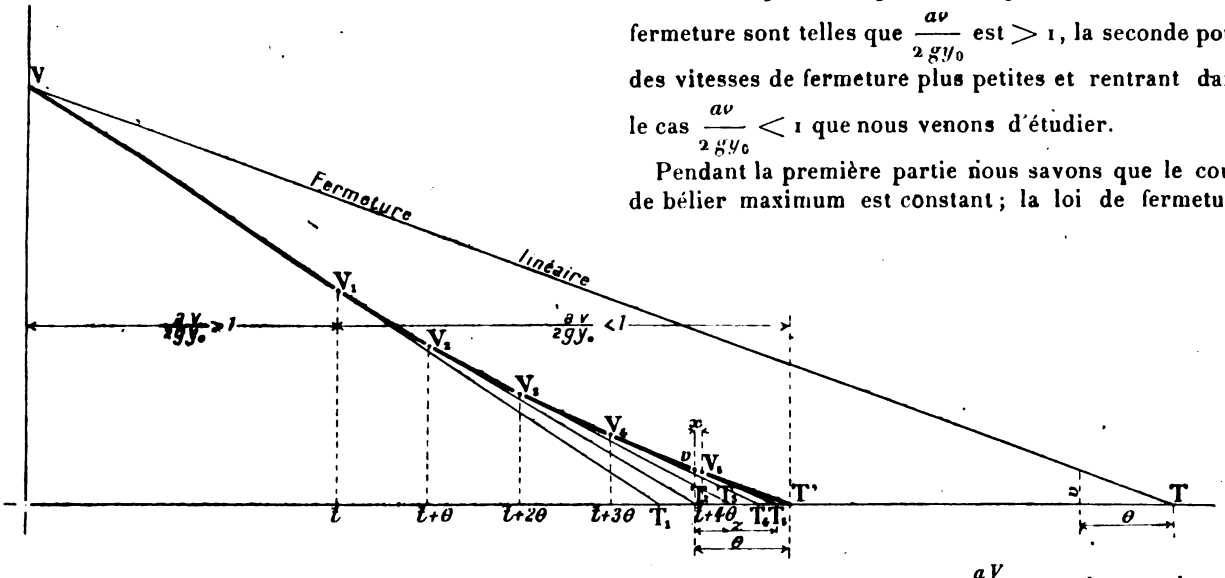


Fig. 17. — Courbe des vitesses pour fermeture rapide sans augmentation de coup de bélier ; $\frac{aV}{2gy_0} > 1$ (basses chutes).

sera donc une droite, utilisable jusqu'à la fin de la période qui suit le temps où la vitesse est telle que $\frac{av}{2gy_0} = 1$.

Nous poserons donc que le coup de bélier maximum est égal à $\frac{y_0}{n}$

$$\frac{2LV}{gT_1}\,\frac{1}{2 - \frac{LV}{gT_1y_0}} = \frac{y_0}{n},$$

le temps de fermeture T_1 sera

$$T_1 = (2n + 1)\,\frac{LV}{2gy_0}.$$

La fermeture s'effectuera suivant la droite V T_1 (fig. 17) jusqu'à la vitesse

$$V_1 = \frac{2gy_0}{a} - \frac{2LV}{aT_1} = \frac{2n - 1}{r(2n + 1)} \quad \text{en posant } r = \frac{a}{2gy_0}.$$

Cette vitesse V_1 correspond au temps t, que l'on détermine facilement avec le rapport

$$\frac{V}{T_1} = \frac{V_1}{T_1 - t};$$

d'où en remplaçant V_1 T_1 par sa valeur

$$t = T_1 - \frac{L}{a}\,(2n - 1).$$

Les fermetures effectuées à partir de V_1 rentrent maintenant dans le cas $\frac{av}{2gy_0} < 1$ et nous aurons comme précédemment, à la fin de chaque période θ, dès le temps t

$$\text{Au temps } t + \theta : V_2 = V_1\,\frac{2n}{2n + 1} - \frac{1}{r(2n + 1)},$$

$$\text{Au temps } t + 2\theta : V_3 = V_2\,\frac{2n}{2n + 1} - \frac{1}{r(2n + 1)},$$

Digitized by Google

et ainsi de suite, jusqu'au moment où la vitesse $v = \frac{2LV}{aT'}$ aboutissant à la fermeture complète en θ soit comprise entre deux vitesses V_p et V_{p+1} aux temps $t + (p-1)\,\theta$ et $t + p\theta$ à une distance x de V_p. Nous aurons

$$x = \frac{\theta\,(v - V_{p+1})}{V_p - V_{p+1}}.$$

Le temps de fermeture total sera

$$T' = t + (p+1)\,\theta - x.$$

La courbe de fermeture est formée de la droite $V V_1$ et des points V_2 V_3... v et T'.

Calculons comme exemple la courbe de la figure 17, dont les données sont : $y_0 = 120$ m, $L = 1\,200$ m, $a = 1\,200$ m : sec, $V = 3$ m : sec et limitons le coup de bélier à 30 m ; donc : $n = 4$, $r = 0{,}51$ et $\theta = 2$ secondes.

Pour une fermeture linéaire le temps de fermeture sera

$$T = \frac{2.1\,200.3}{9{,}8.120}.4 = 24{,}5 \text{ secondes.}$$

Avec une loi de fermeture rapide, la première partie formée d'une droite sera déterminée par $V = 3$ m : sec au temps zéro et par

$$V_1 = \frac{7}{0{,}51 \times 9} = 1{,}525 \text{ m : sec,}$$

au temps $t = 9.\frac{1\,200.3}{19{,}6\,120} - \frac{1\,200}{1\,200}.7 = 6{,}75$ secondes.

La seconde partie, en courbe, est formée des points suivants :

Au temps $t + \theta$: $V_2 = 1{,}525\,\frac{8}{9} - 0{,}218 = 1{,}137$ m : sec.

Id. $t + 2\theta$: $V_3 = 0{,}793$,

Id. $t + 3\theta$: $V_4 = 0{,}487$,

Id. $t + 4\theta$: $V_5 = 0{,}215$.

La vitesse de fermeture complète en un temps θ est en

$$v = \frac{2.1\,200.3}{1\,200.24{,}5} = 0{,}245 \text{ m : sec,}$$

outre cette vitesse est comprise entre V_4 et V_5 au temps $t + 3\theta$ et $t + 4\theta$; donc $p = 4$; on aura

$$x = \frac{2\,(0{,}245 - 0{,}215)}{0{,}487 - 0{,}215} = 0{,}22 \text{ seconde,}$$

et le temps total de fermeture sera

$$T' = 6{,}75 + (4+1)\,2 - 0{,}22 = 16{,}53 \text{ secondes.}$$

Le temps total de fermeture est ainsi ramené de 24,5 secondes pour une fermeture linéaire, à 16,5 secondes pour une fermeture non linéaire ; l'économie du temps est de 8 secondes, soit de 32,5 pour 100 environ sans augmentation du coup de bélier.

La diminution du temps de fermeture est plus importante dans les basses chutes, pour lesquelles la vitesse de fermeture peut être plus grande, comme cela ressort de la comparaison des deux formules donnant le coup de bélier maximum pour des fermetures lentes

$$\text{hautes chutes : } \frac{2LV}{gT}\,\frac{1}{1 + rv - \frac{LV}{gTy_0}},$$

et

$$\text{basses chutes : } \frac{2LV}{gT}\,\frac{1}{2 - \frac{LV}{gTy_0}};$$

le terme $1 + rv$ étant < 2 puisque $rv < 1$, il s'ensuit, toutes choses égales, que la formule des hautes chutes donnera une valeur plus grande que celle des basses chutes ; on pourra donc, sans augmenter l'intensité du coup de bélier, adopter une fermeture plus rapide dans les basses chutes et diminuer dans une plus grande proportion le temps de fermeture linéaire.

Remarquons que la loi de fermeture linéaire produit une diminution du coup de bélier $\frac{2LV}{gT'}$ proportionnelle à l'économie réalisée pour le temps de fermeture $T - T'$.

Dans le premier exemple le coup de bélier maximum de fermeture pour une fermeture linéaire en un temps T' serait $B = \frac{2LV}{gT'} = 157$ m, alors que la loi non linéaire ramène cet effort à 125 m, soit une diminution de 20,2 pour 100.

Dans le deuxième exemple (basse chute), cette diminution atteint 32,5 pour 100.

B. **Ouverture.** — Loi d'ouverture produisant un coup de bélier donné pour un temps d'ouverture minimum. — Comme pour la fermeture nous pouvons établir une loi rapide d'ouverture, non linéaire.

Premier cas, $\frac{av}{2gy^0} < 1$. — *Hautes chutes.* Dans le cas des hautes chutes et tant que $\frac{av}{2gy_0}$ est égal ou plus petit que 1, le coup de bélier maximum est toujours donné à la fin de la première période d'ouverture.

Si nous fixons à $\frac{y_0}{n}$ le maximum du coup de bélier, nous aurons pour une ouverture linéaire de 0 à V en T secondes,

$$T = (2n - 1)\,\frac{LV}{gy_0}.$$

Digitized by Google

La loi non linéaire sera donnée par les points suivants :

$$\text{Au temps } 0 : V_1 = \frac{1}{r(2n-1)}.$$

$$\text{Au temps } 2\theta : V_2 = V_1 \frac{1}{r(2n-1)} + V_1.$$

$$\text{Au temps } p\theta : V_p = V_{p-1} \frac{1}{r(2n-1)} + V_1.$$

La vitesse V d'ouverture totale sera comprise entre deux vitesses V_p et V_{p+1} à une distance x de V_p donnée par

$$x = \frac{\theta(V - V_p)}{V_{p+1} - V_p},$$

et le temps total de fermeture sera

$$T' = p\theta + x.$$

Nous donnons, figure 18, la courbe d'ouverture en prenant les données de la figure 16.

Pour un coup de bélier limité à $\frac{y_0}{n} = 125$ m, une loi linéaire d'ouverture demande une durée de

$$T = 10{,}30 \text{ secondes.}$$

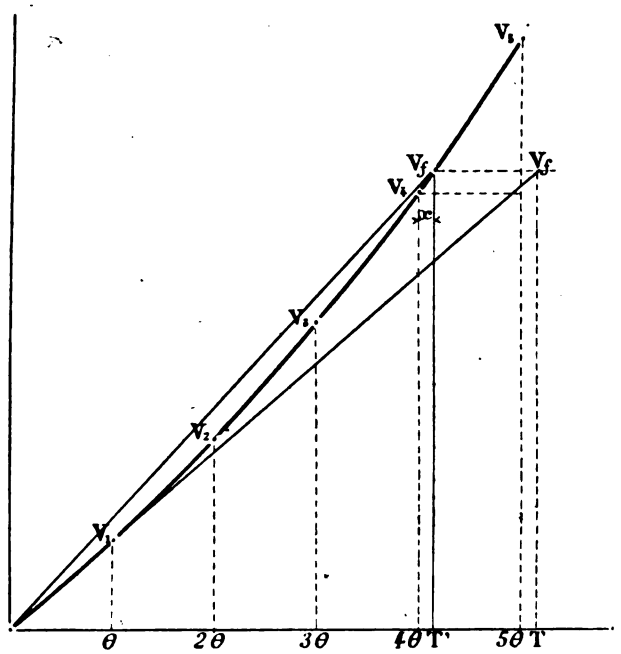


Fig. 18. — Courbe des vitesses pour ouverture rapide sans augmentation du coup de bélier; $\frac{aV_f}{2gy_0} < 1$ (hautes chutes).

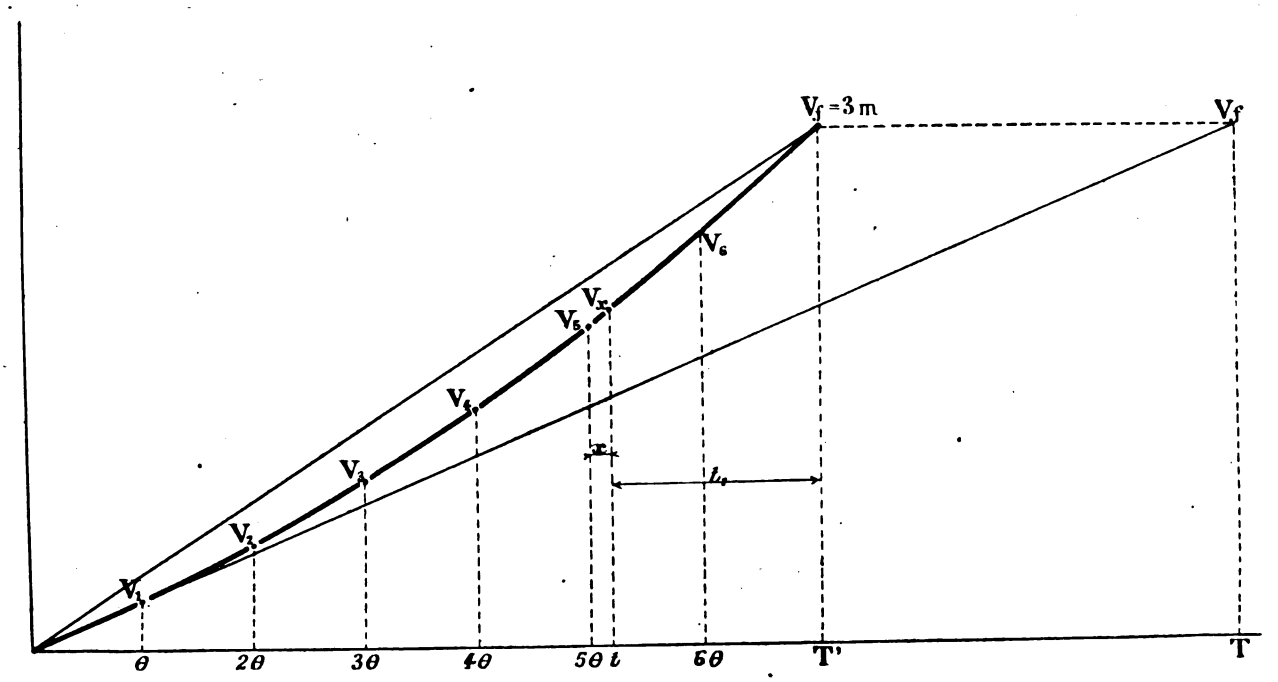


Fig. 19. — Courbe des vitesses pour ouverture rapide sans augmentation du coup de bélier; $\frac{aV_f}{2gy_0} > 1$.

avec une loi non linéaire nous aurons

$$T' = 8{,}28 \text{ secondes.}$$

La loi linéaire de durée T' aurait produit un coup de bélier de 151 m, tandis qne la loi non linéaire, de même durée, ramène cet effort à 125 m, soit une diminution de 17 pour 100.

Deuxième cas, $\frac{av}{2gy_0} > 1$. — *Basses chutes*. Dans les premières périodes à partir de la vanne complètement

Digitized by Google

fermée, les valeurs de $\frac{av}{2gy_0}$ sont <1 si nous limitons le coup de bélier maximum à $\frac{y_0}{2}$. Les premiers points de la courbe des vitesses se calculeront donc comme précédemment jusqu'à la vitesse V_x telle que $\frac{a}{2gy_0} V_x = 1$ au temps t. Cette vitesse sera comprise entre deux vitesses V_p et V_{p+1} aux temps $p\theta$ et $(p+1)\theta$ à une distance x de V_p

$$x = \frac{\theta(V_x - V_p)}{V_{p+1} - V_p},$$

au temps $t = p\theta + x$.

A partir de V_x et du temps t, la loi devient linéaire et nous poserons

$$\frac{L(V - V_x)}{g t_1} \frac{1}{1 + \frac{L(V - V_x)}{2.g.t_1.y_0}} = \frac{y_0}{n},$$

d'où nous tirons

$$t_1 = \frac{L(V - V_x)}{g y_0} \left(\frac{2n-1}{2}\right).$$

Et le temps total d'ouverture sera

$$T' = t + t_1.$$

En prenant les données de la figure 17 nous aurons la courbe d'ouverture de la figure 19 pour laquelle

$$V_x = \frac{2gy_0}{2} = 1{,}96 \text{ m : s},$$

vitesse comprise entre $V_5 = 1{,}855$ et $V_6 = 2{,}40$ m : s à la distance de V_5 égale à $x = 0{,}37$ sec

$$t = 5 \times 2 + 0{,}37 = 10{,}37 \text{ secondes},$$

d'autre part

$$t_1 = \frac{1\,200\,(6 - 1{,}96)}{9{,}8.120} \cdot \frac{7}{2} = 3{,}73 \text{ secondes},$$

et le temps de fermeture totale

$$T' = 10{,}37 + 3{,}73 = 14{,}10 \text{ secondes},$$

au lieu de $T = 21{,}5$ sec pour une ouverture suivant une loi linéaire.

Le coup de bélier maximum pour une ouverture linéaire de zéro à $V = 3$ m : sec en 14,10 sec serait de 42,70 m ; la loi non linéaire ramène ce maximum à 30 m, soit une diminution de 30 pour 100.

Ed. CAREY.

Revues, analyses et informations

Diminution, avec l'usage, du rayonnement ultra-violet et du rayonnement total émis par les lampes en quartz à vapeur de mercure (1).

Les auteurs se sont proposés de déterminer quantitativement la diminution avec l'usage du rayonnement ultra-violet émis par les lampes en quartz à vapeur de mercure. Les intensités ont été mesurées radiométriquement au moyen d'une pile thermo-électrique bismuth-argent et d'un galvanomètre. Une cuve à eau de 1 cm d'épaisseur, à fenêtre de quartz disposée devant la pile, absorbe les rayons infra-rouges de grande longueur d'onde ($> 1{,}4\ \mu$) émis par les électrodes et l'enveloppe. Le faisceau complexe qui passe peut être considéré comme celui émis par la vapeur de mercure ; son spectre se compose de raies intenses situées dans l'ultra-violet, dans la partie visible et dans l'infra-rouge jusque vers 1,4 μ. Le vieillissement des lampes tient au noircissement du quartz ou à une sorte de cristallisation qui le rend moins transparent par les rayons ultra-violets.

La méthode la plus simple pour étudier le vieillissement de la lampe consisterait donc à utiliser un écran transmettant tout l'ultra-violet et absorbant les rayons visibles ou infra-rouges, ou bien absorbant l'ultra-violet et transmettant tout le rayonnement visible ou infra-rouge. Il n'existe aucun écran idéal de ce genre, mais les auteurs ont utilisé un verre jaune foncé (*Corning Noviol*, shade B) qui absorbe tous les rayons ultra-violets de longueur d'onde inférieure à 0,4 μ, et dont la transmission ne dépend pas de la puissance absorbée par la lampe (entre 100 et 200 w). On mesure les déviations du galvanomètre fournies par la pile thermo-électrique : 1° directement après passage dans la cuve à eau qui arrête les radiations de très grandes longueurs d'onde émises par les parois du tube ; 2° après interposition du verre jaune. Le rapport de ces deux déviations, ou coefficient de transmission augmente à mesure que diminue la proportion des radiations ultra-violettes dans le rayonnement, c'est-à-dire, à mesure que le tube vieillit. — Les essais ont porté sur des lampes de la Cooper-Hewitt Electric Co et de la R. U. V. Co. Ils ont permis d'établir les résultats suivants : 1° La proportion du rayonnement ultra-violet contenu dans le rayonnement total, ou plutôt dans le rayonnement émis jusqu'à la longueur d'onde 1,4 μ (limite supérieure) varie de 70 pour 100, pour une lampe neuve, à 50 pour 100, après 1000 à 1500 heures de fonctionnement ; 2° pendant les 500 premières heures, il n'y a pas de différence sensible dans le pourcentage du rayonnement ultra-violet émis par les deux types de lampes : 3° le rayonnement total des lampes diminue de la moitié ou du tiers de sa valeur initiale après 1000 ou 1200 heures de fonctionnement. — Les nombres indiqués dans le tableau ci-dessous donnent, en calories par centimètre cube et par seconde, le rayonnement compris entre certaines limites de longueurs d'onde pour le rayonnement solaire (épaisseur atmosphérique égale à 2,7 fois l'épaisseur suivant la verticale), le rayonnement d'une lampe en quartz à vapeur de mercure fonctionnant sous 220 v (à 40 cm de l'axe) et celui d'un arc au charbon à flamme violette fonctionnant sous 220 v et consommant 4 000 w (à 40 cm de l'arc, le globe ou verre étant en place) :

Longueurs d'onde.	Rayonnement solaire.	Lampe en quartz à vapeur de mercure.	Lampe à arc.
0 à 0,45 μ	0,0008	0,0011	0,0030
0 à 1,4	0,0139	0,0017	0,0051
0,45 à 1,4	0,0121	0,0006	
1,4 à ∞	0,0026	0,0039	
0 à ∞	0,0155	0,0056	

A. B.

(1) W. COBLENTZ, B. LONG, H. KAHLER. *Scientific Papers of the Bureau of Standards*, 12 novembre 1918, n° 330, 20 pages, 6 fig., 7 tab.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

La commande électrique des machines-outils

Dans cet article, on a surtout envisagé la substitution de la commande automatique à la commande à main en ce qui concerne les appareils de mise en marche des moteurs électriques. L'étude se termine par quelques considérations sur le montage des moteurs sur les machines-outils.

La question de la commande électrique des machines-outils a pris pendant la guerre une importance considérable qui ne fera probablement que s'accroître avec la période intensive ou de reconstruction qui suivra.

Or, si l'on est à peu près d'accord pour reconnaître les avantages de la commande électrique dans les ateliers, il faut bien avouer qu'elle est le plus souvent mal utilisée et qu'il en résulte une mauvaise exploitation pouvant faire croire à la fragilité des installations de ce genre.

Nous nous proposons ici, non pas de discuter les mérites ou les inconvénients respectifs de la commande individuelle ou de la commande de machines par groupes, mais plutôt d'examiner les moyens dont on

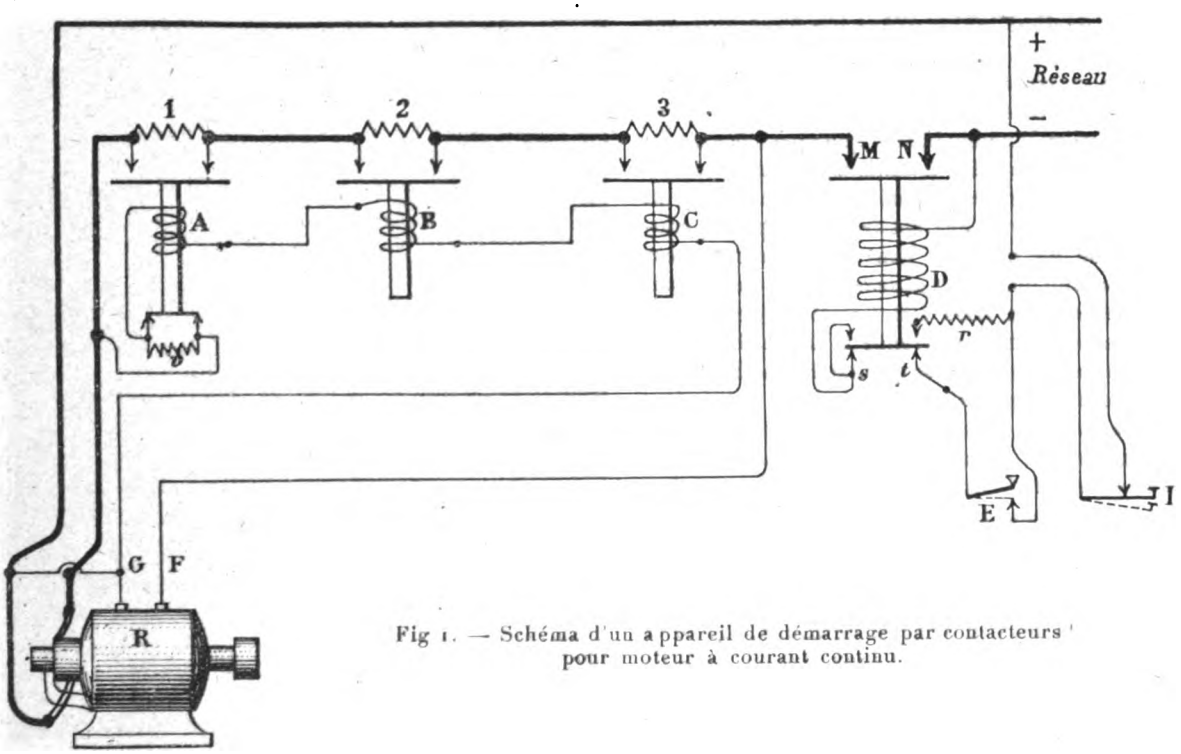


Fig 1. — Schéma d'un appareil de démarrage par contacteurs pour moteur à courant continu.

dispose actuellement pour parer à la brutalité des ouvriers et pour éviter à la fois pour le réseau et pour le moteur les à-coups si préjudiciables à la bonne marche de l'ensemble, à coups qui proviennent presque toujours d'une manœuvre trop rapide des appareils de démarrage.

Démarreurs à touches. — Tout le monde connaît les rhéostats de démarrage opérant par progression d'une manette sur une série de touches. Ces appareils ont pour but d'insérer une résistance dans la partie tournante d'un moteur et de l'éliminer peu à peu une fois la mise en marche obtenue, ce sont de véritables « robinets » que l'on doit ouvrir avec prudence. Malheureusement dans la plupart des usines leur manœuvre est confiée au premier venu et, malgré les

Digitized by Google

recommandations, on voit constamment des ouvriers manœuvrer la poignée de leur démarreur comme le bouton d'une porte que l'on ouvre ; il en résulte un fort à-coup sur la ligne en même temps qu'un ébranlement

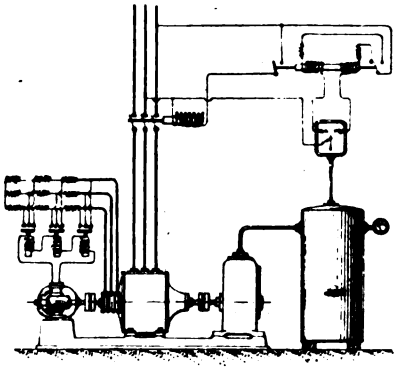


Fig. 2. — Mise en marche automatique d'un moteur asynchrone commandant un compresseur.

général du moteur et des transmissions qui lui sont reliées.

Les Sociétés de distribution d'énergie électrique ont bien imposé sur certains réseaux l'emploi de démarreurs avec bobines à maximum, et à minimum mais ces précautions sont illusoires, car ces accessoires laissent subsister en entier l'inconvénient que nous venons de signaler. En effet, la bobine à *minimum* est une bobine qui se trouve placée à l'extrémité de la course de la manette du démarreur et qui est traversée par le courant d'excitation du moteur. Tant que le moteur est excité, cette bobine maintient attirée contre son noyau une palette de fer doux fixée à la manette du rhéostat. Que le courant d'excitation vienne à disparaître et la manette rappelée par un ressort abandonne l'électro-aimant et revient à la position du repos.

La bobine à *maximum*, traversée par le courant d'alimentation, attire une armature pour une valeur déterminée de ce courant d'alimentation et vient mettre en court-circuit la bobine à minimum ; la manette n'étant plus retenue revient à la position de repos, rappelée par le ressort.

Ces organes ont surtout pour but de retirer les moteurs du circuit s'il y a manque de courant ou si la charge imposée à ces moteurs est trop grande, mais ils n'empêchent pas un démarrage rapide, c'est ainsi que nous avons vu fréquemment l'ouvrier pousser d'un seul coup la manette à fond et la maintenir en place jusqu'à ce que le moteur ayant acquis une vitesse suffisante sa force contre-électromotrice soit telle que le courant soit redevenu normal et que la palette de l'électro à maximum ait cessé de mettre en court-circuit la bobine à minimum. Enfin, d autres ouvriers moins patients intercalent parfois un morceau de bois entre le dernier et l'avant-dernier plot pour ne pas voir leur moteur s'arrêter par suite d'une surcharge.

Vis-à-vis de tels procédés, il n'y a qu'un remède, rendre le démarrage indépendant de la manœuvre de l'ouvrier, c'est ce qu'ont bien compris nos alliés et amis les Américains et c'est l'équipement moderne des machines-outils par ces procédés que nous allons examiner.

Démarreurs à contacteurs. — Il suffit de mettre à profit la force contre-électromotrice pour avoir avec les machines à courant continu un système de démarrage progressif. Supposons (fig. 1) que l'on relie en dérivation sur les balais du moteur une série d'électro-aimants réglés, l'un par exemple pour attirer son armature lorsque la tension arrive à être de 20 v aux bornes de son enroulement, un autre pour 40 v, et ainsi de suite. Si nous disposons les choses pour que, dans sa course, l'armature du premier électro-aimant vienne mettre en court-circuit une partie de la résistance de démarrage, le deuxième électro-aimant une autre partie, etc., nous réaliserons bien un démarrage pro-

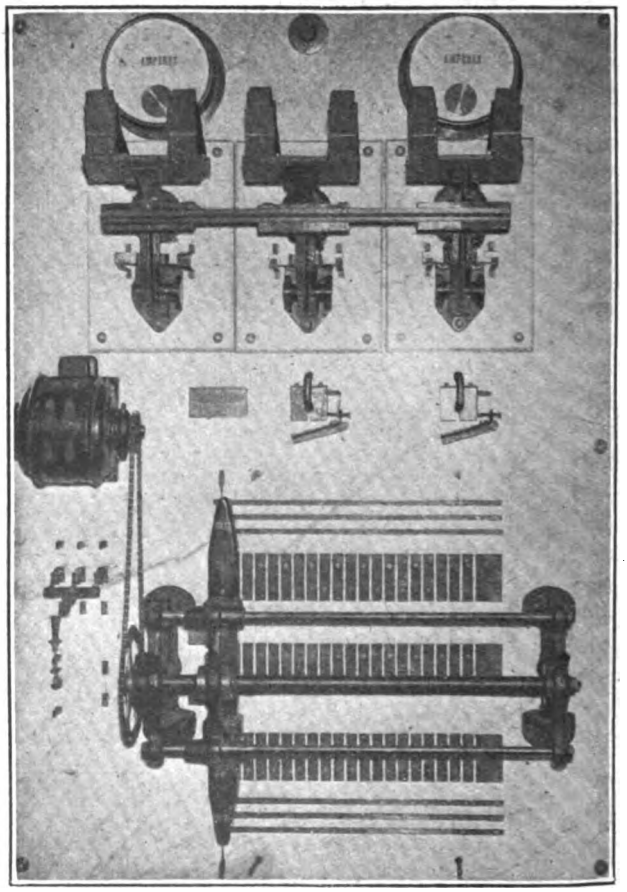


Fig. 3. — Mise en marche à distance d'un gros moteur asynchrône par servo-moteur.

gressif sans gros à-coup puisque la suppression des résistances se produira au moment opportun.

C'est ce que l'on a fait pour les puissantes machines, pour les ascenseurs par exemple et pour bien des

Digitized by Google

moteurs destinés à être mis en marche à distance.

Le schéma (fig. 1) est un exemple d'une installation de ce genre. Les contacteurs destinés à la suppression des résistances de démarrage sont en A, B et C; on pourrait en mettre davantage, le principe resterait le même. Les résistances 1, 2 et 3 sont normalement dans le circuit de l'induit, un contacteur principal D sert à provoquer la mise en marche ou l'arrêt à distance du moteur.

Pour mettre en marche on appuiera sur le bouton E; le courant du réseau traversera le solénoïde D lequel attirera son armature et viendra fermer en MN le circuit du moteur R sur le réseau à travers les résistances 1, 2 et 3, mais en se soulevant l'armature coupe

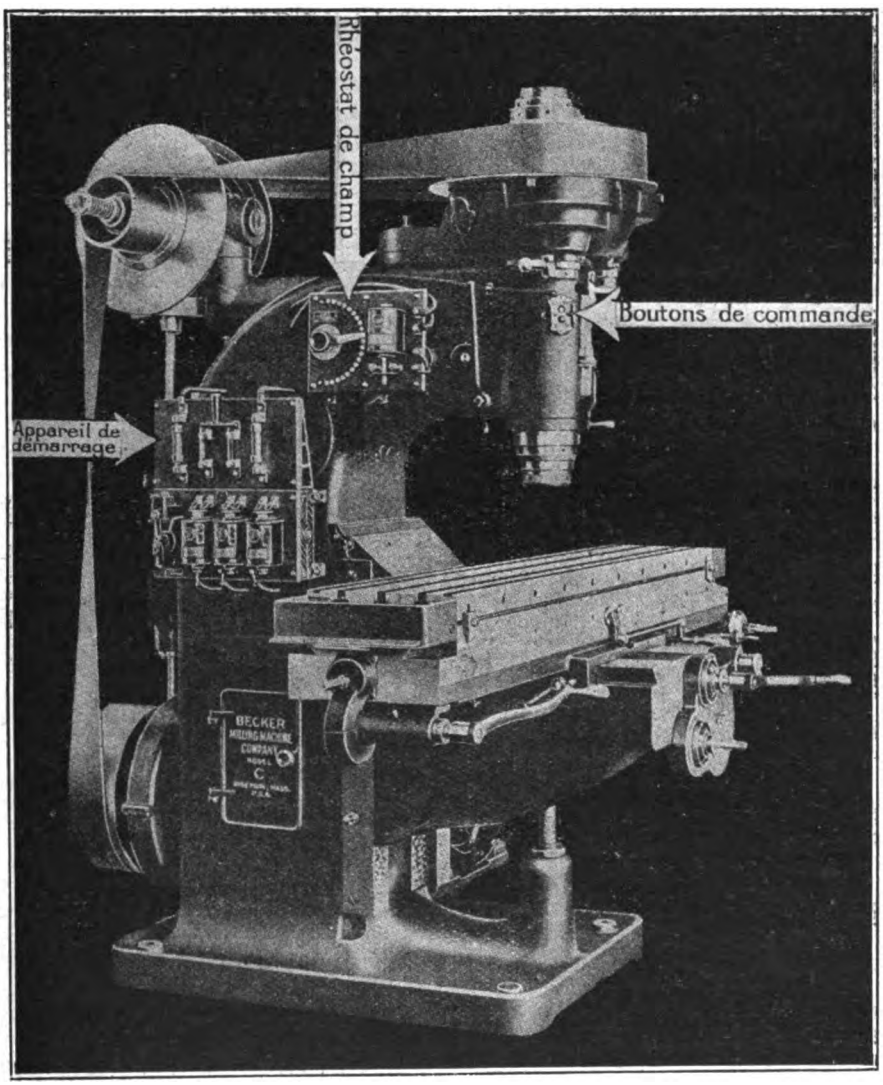


Fig. 4. — Equipement moderne d'une machine-outil.

en S et t le circuit du solénoïde pour le rétablir à travers une résistance r évitant une consommation exagérée de courant. (On sait que, quand une armature est au contact, il suffit d'un faible courant pour la maintenir attirée; cela permet du reste de libérer le bouton E sur lequel on n'a pas de ce fait à appuyer d'une façon continue.)

Le moteur étant excité, puisque son excitation est prise avant les résistances 1, 2 et 3, va se mettre en marche. Au fur et à mesure il prendra une vitesse croissante en développant une force contre-électromotrice de plus en plus grande. Il en résulte que le courant traversant les électros A, B et C augmentera graduellement. Si le système est bien réglé, par des entrefers croissants, par exemple, le contacteur C agira le premier en mettant en court-circuit la résistance 3, puis ce sera au tour du contacteur B et enfin au tour de A. Cet appareil étant le dernier, on en profitera pour insérer une résistance V dans le circuit général des contacteurs lesquels ayant tous leur armature attirée n'ont

Digitized by Google

plus besoin que d'un faible courant d'excitation.

On remarquera que nous avons monté tous les solénoïdes A, B, C, en série, c'est la solution la plus pratique pour chacun d'eux ; le fil n'a pas besoin d'être aussi fin qu'avec des électro-aimants mis en dérivation sur la tension totale du moteur.

Pour arrêter le moteur il suffira d'appuyer sur le bouton I qui supprimera le courant sur le solénoïde principal D; son armature n'étant plus attirée ouvrira en M et N le circuit du moteur et ce dernier s'arrêtera entraînant progressivement pendant sa marche ralentie la chute des contacteurs 1, 2 et 3.

Bien entendu les schémas peuvent varier à l'infini et nous n'avons voulu ici que rappeler le principe de ceux que l'on rencontre le plus souvent. On voit donc que par ce procédé la mise en marche d'un moteur se bornera à la pression sur un bouton, on voit aussi que peu importe que l'ouvrier appuie longtemps ou non, le moteur se mettra en marche progressivement et, s'il est chargé, la mise hors circuit des résistances de démarrage ne se produira que lorsque la force contre-électromotrice correspondante aura été atteinte. Pas d'à-coup sur la canalisation, pas de traitement brutal infligé au moteur.

Enfin l'arrêt sera aussi simple puisqu'il suffira d'appuyer sur le bouton I.

Nous n'avons pas la prétention de passer en revue ici toutes les combinaisons réalisées dans ce but dont la

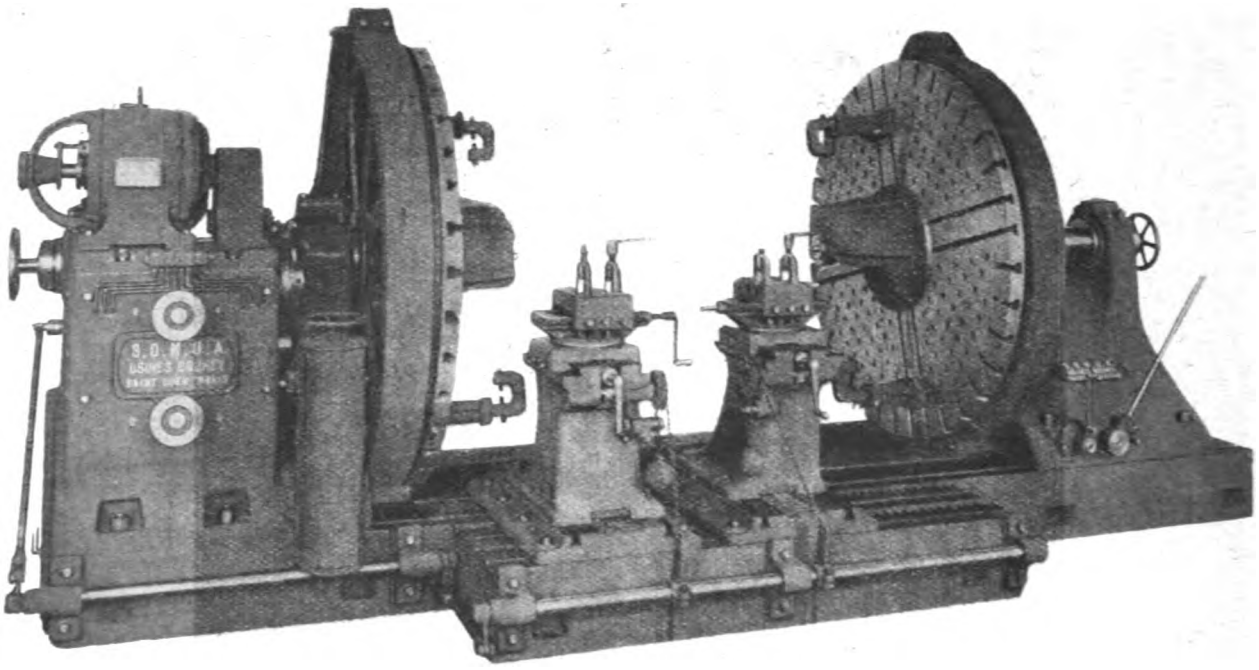


Fig. 5. — Tour à roues pour essieux montés de locomotives, commandé électriquement par moteur de 15 kw.

plupart sont connues, il nous a suffi d'en indiquer le principe. C'est ainsi que l'étude des contacteurs seuls, de leur fonctionnement et de la forme rationnelle à leur donner a été longuement examinée par les divers constructeurs des différents pays, nous n'insisterons pas et dirons un mot du démarrage des moteurs à courant alternatif.

Démarreurs pour moteurs à courants alternatifs. — Avec les moteurs asynchrones on ne peut mettre à profit la force contre-électromotrice, tout au plus pourrait-on utiliser la diminution de fréquence dont les courants issus du rotor sont le siège, mais la chose n'a pas été réalisée pratiquement, à notre connaissance du moins.

Le procédé le plus souvent employé avec les moteurs à rotor bobiné dont il s'agit de retirer la résistance mise en circuit avec les bagues consiste à faire actionner par l'arbre du moteur une petite dynamo à courant continu laquelle, à mesure que sa vitesse augmente, s'excite et actionne une série de contacteurs qui éliminent progressivement les résistances. Nous donnons à titre démonstratif le schéma d'un montage de ce genre appliqué à un moteur commandant un compresseur.

Ce dispositif dont le fonctionnement se devine au seul examen de la gravure (fig. 2) est employé par les Etablissements Brandt et Fouilleret.

Un autre montage basé sur un autre principe est représenté figure 3; il est dû aux Etablissements Genteur. Ici un servo-moteur à courant alternatif actionne par chaîne une vis sur laquelle se déplace un écrou entraînant un triple frotteur dont le rôle est de supprimer progressivement les résistances intercalées dans le rotor du moteur asynchrone ; trois contacteurs principaux à

Digitized by Google

courant alternatif assurent la fermeture du courant sur le stator. Nous avons donné ces deux installations à titre d'exemple, mais il est évident qu'il en existe des variantes suivant les applications que l'on veut réaliser.

Equipement d'une machine-outil à commande électrique. — Le fonctionnement automatique d'une machine-outil à commande électrique à l'aide de boutons permettant sa mise en marche et son arrêt à distance au moyen de dispositifs analogues à ceux que nous venons de signaler doit être étudié en vue du travail même que doit effectuer la machine. Sans passer en revue chaque machine-outil, ce qui nous entraînerait dans des développements trop considérables, nous envisagerons le cas de la machine-outil où se trouvent réunies le plus de difficultés, celui de la raboteuse.

Dans la raboteuse le problème est le suivant :

Une pièce étant montée sur le tablier de la raboteuse,

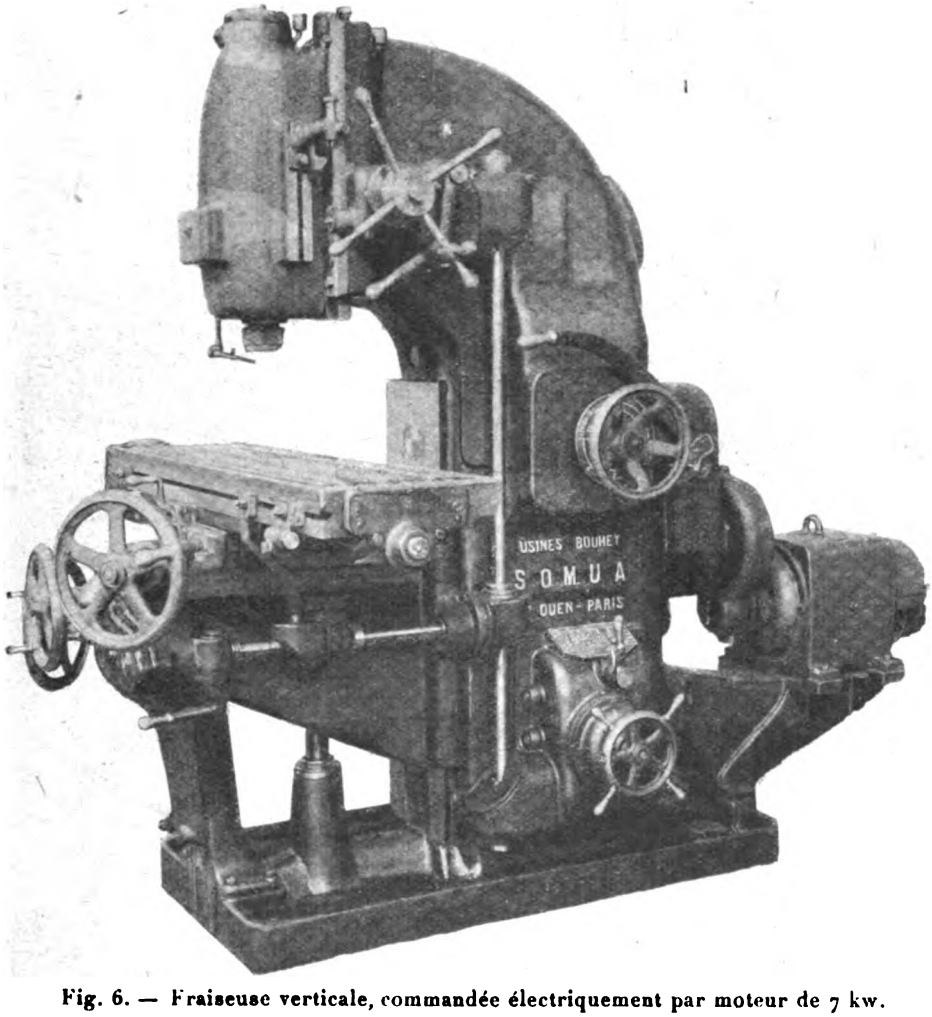


Fig. 6. — Fraiseuse verticale, commandée électriquement par moteur de 7 kw.

ce dernier doit aller et venir entre les deux montants supportant l'outil, mais tandis que, pendant la coupe, le tablier doit marcher à une vitesse bien déterminée, il doit ensuite revenir rapidement en arrière une fois la course active terminée. L'appareil de commande devra donc prévoir :

1° Le démarrage par l'emploi d'une série de contacteurs;

2° Le freinage du moteur lorsque le tablier approche de la fin de sa course ;

3° L'inversion du sens de marche aux deux extrémités de la course du tablier ;

4° Le retour rapide du tablier et le freinage du moteur à la fin de cette course rapide ;

5° L'emploi de vitesses différentes suivant la nature des outils à couper.

Le démarrage s'effectue sans difficulté à l'aide de contacteurs suivant un montage analogue à celui de la figure 1. Le freinage peut être obtenu à l'aide d'un contacteur monté aux bornes de l'induit fermant ce dernier sur une résistance spéciale réglée aux essais; ce contacteur devra être verrouillé avec ceux de marche avant et arrière en rendant toute fausse manœuvre impossible. Dans les grosses installations on peut pré-

Digitized by Google

voir deux contacteurs auxiliaires principaux qui réduisent la résistance de freinage au fur et à mesure de la diminution de vitesse Il faut en effet que le moteur soit presque arrêté quand on provoquera l'inversion de son sens de marche et il ne faut pas d'autre part que le tablier continue sa course trop loin, car il risquerait de rencontrer un obstacle.

La précision du freinage est obtenue le plus souvent à l'aide d'un renforceur de champ monté sur le tablier de la raboteuse et remettant le plein flux un instant avant

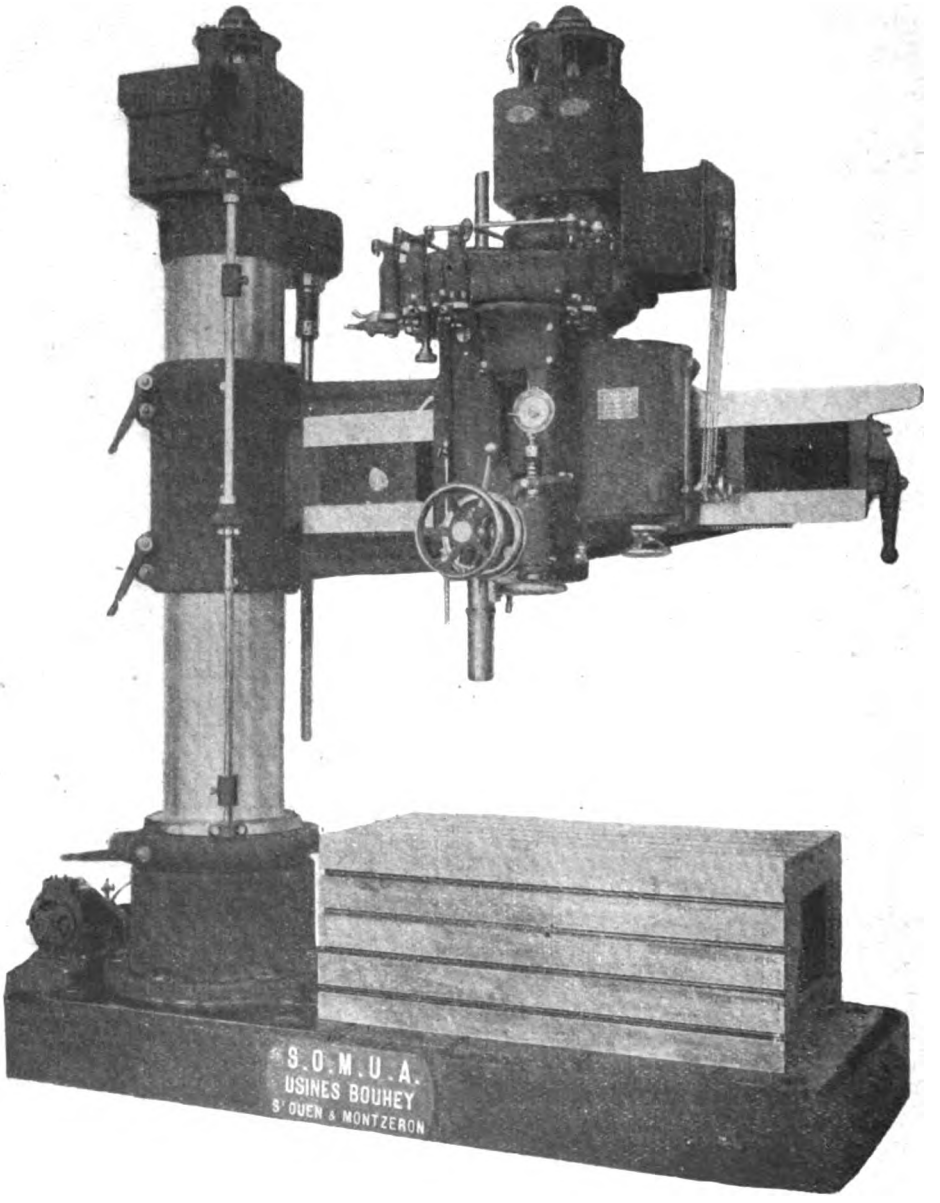


Fig. 7. — Perceuse radiale à bras, commandée électriquement par deux moteurs : l'un de 3 kw servant au perçage, l'autre de 1,5 kw servant au déplacement vertical du bras.

l'inversion de marche. Il faut tenir compte en effet de ce que l'ouvrier a besoin de donner au tablier de sa machine une vitesse bien déterminée suivant la nature de son outil et suivant celle du métal à couper. Il aura donc à sa portée, en plus des deux boutons de mise en marche et d'arrêt, un rhéostat de champ de façon à donner à la machine la vitesse qui convient pour le genre de travail à effectuer et qu'il règlera une fois pour toutes au moment où il commencera son travail.

Enfin le retour rapide du tablier sera obtenu par une résistance assez grande qu'un contacteur insèrera au moment voulu à la suite du rhéostat de champ signalé ci-dessus. Il faudra naturellement prendre pour obtenir

Digitized by Google

un bon fonctionnement du collecteur à toutes les allures un moteur à pôles auxiliaires.

L'ensemble des contacteurs, résistances, etc., pourra être renfermé dans un coffre métallique hors de portée de l'ouvrier qui ne doit pouvoir disposer que de deux boutons et d'un rhéostat régulateur de vitesse. La figure 4 qui représente une fraiseuse de construction américaine pourvue d'une commande par boutons donne assez bien une idée des montages utilisés en pareil cas.

D'une manière générale la commande à distance des machines-outils par boutons devrait être généralisée, on peut ainsi multiplier les boutons et rendre l'arrêt plus prompt en cas d'accident par exemple.

Bien entendu l'emploi de contacteurs réclame pour le

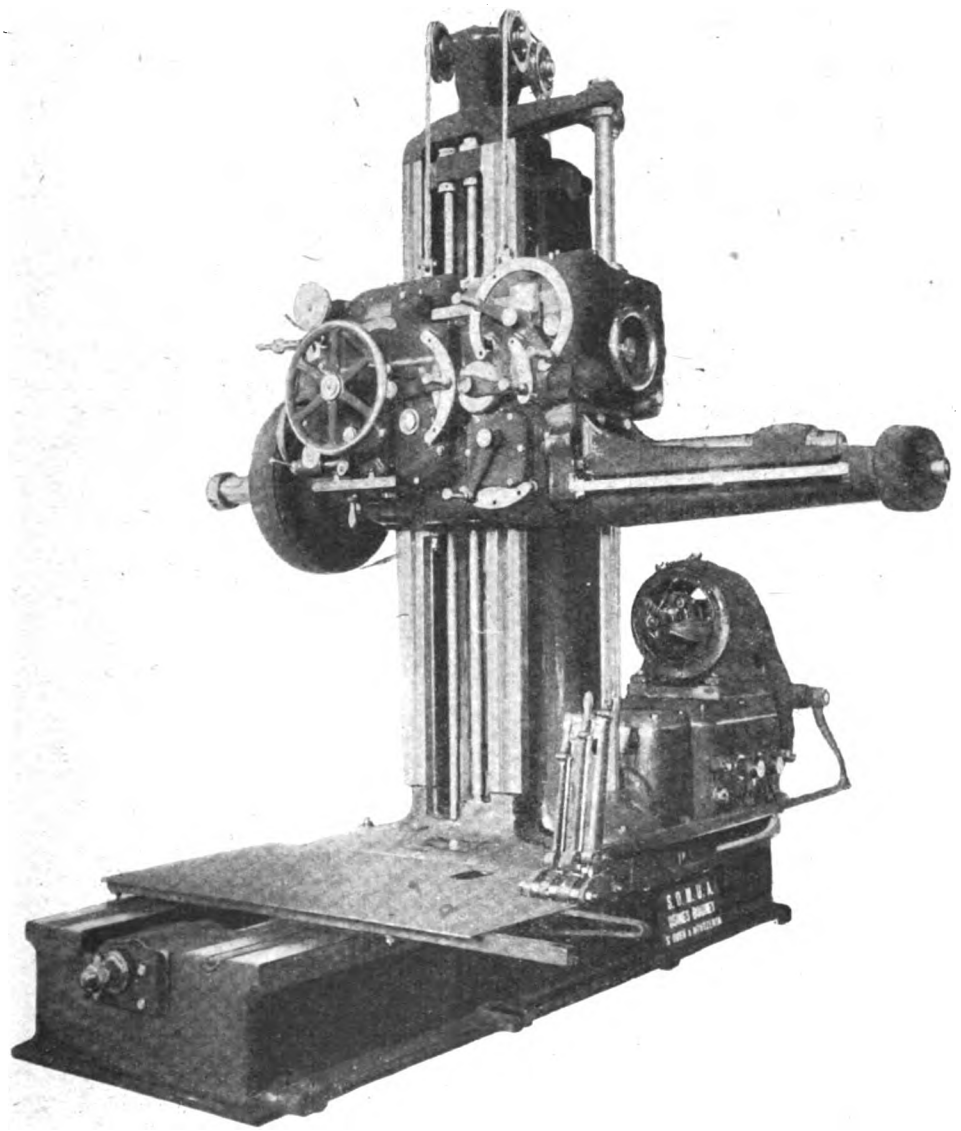


Fig. 8. — Grande machine à fraiser à commande électrique utilisant un moteur à courant continu de 10 kw.

réglage certains soins; leur entretien ne devra être confié qu'à un personnel expérimenté connaissant à fond le rôle de ces appareils et leur fonctionnement.

Installation des moteurs sur les machines-outils. — Avant de terminer ce court exposé nous dirons un mot de l'adaptation des moteurs aux machines-outils.

D'une façon générale les moteurs électriques tournent beaucoup plus vite qne les machines qu'ils doivent conduire ; il n'y a que pour certaines machines telles que les rectifieuses où l'on est obligé d'introduire des organes de multiplication, presque toujours il faut au contraire employer des réducteurs de vitesse.

On peut dans ce but utiliser les trains de réduction par courroies, mais les courroies sont ennuyeuses; elles s'allongent et cassent parfois ; elles ne présentent qu'un avantage celui de sauter en protégeant le moteur si la

Digitized by Google

machine-outil est calée brusquement. Pour éviter les courroies le mode d'attaque que l'on rencontre le plus souvent est la commande par engrenages avec pignon en cuir spécial (cuir de porc comprimé). Ces pignons ont l'avantage de pouvoir tourner très vite sans bruit, de plus leur usure est insignifiante, mais il faut pour cela qu'ils soient bien réglés et de bonne qualité.

Pour donner un exemple de la solidité que l'on peut attendre d'installations de ce genre, nous pouvons citer plusieurs machines montées autrefois sous notre direction dans les Ateliers de la Section technique de l'Artillerie, il y a plus de quinze ans de cela, en utilisant des moteurs électriques pourvus de pignons en cuir spécial. Ces machines marchent encore, malgré le travail intensif qu'elles ont dû fournir pendant ces dernières années. Il faut également avoir bien soin d'envelopper les engrenages dans des carters faciles à démonter pour la visite, mais rendant impossible l'arrivée de copeaux métalliques ou de limailles sur les engrenages.

Les photographies que nous reproduisons ci-dessus et qui nous ont été obligeamment communiquées par les établissements S. O. M. U. A. permettent de se rendre compte de la façon dont on peut monter les moteurs sur les machines-outils les plus connues, telles que tours, fraiseuses, perçeuses, etc. L'idéal est de former un bloc compact qui est facile à visiter tout en maintenant les organes délicats à l'abri des chocs et de la poussière. Pour cette raison les canalisations électriques devront être sous tubes, faites avec beaucoup de soin, car il ne faut pas perdre de vue que les contacts à la masse se produisent facilement dans les ateliers et qu'ils créent ensuite de véritables difficultés d'exploitation.

Tel est en quelques mots l'état actuel de la question de la commande électrique des machines-outils ; nous n'avons fait ici qu'effleurer ce sujet en montrant les difficultés qui se présentent et les moyens généraux d'y remédier, mais il ne faut pas perdre de vue que chaque espèce de machine-outil constitue un cas particulier et qu'il faut en connaître parfaitement le fonctionnement si on veut la doter d'une commande électrique appropriée. C'est pour cela que l'étude complète de toutes les machines demanderait un volume à elle seule pour être traitée entièrement, on voudra donc bien nous excuser si nous n'avons donné ici qu'un court résumé de cette importante question.

A. Soulier

L'avenir de l'industrie électrique en Roumanie

Au début de l'année 1917, le gouvernement roumain envoya en France une mission d'études composée de professeurs et d'ingénieurs, dont l'un des buts était la recherche des moyens propres à permettre à la Roumanie de soustraire à l'influence allemande l'éducation technique de ses ingénieurs et la direction des grandes entreprises industrielles du pays ; M. Dragomir Hurmuzescu, qui, après avoir conquis ses grades universitaires à Paris, fut successivement professeur à l'Université de Jassy, puis à l'Université de Bucarest, et a rempli pendant quelque temps les hautes fonctions de ministre de l'Instruction publique, était plus spécialement chargé de ce qui concerne l'industrie électrique. Dès son arrivée à Paris, M. Hurmuzescu se préoccupa, d'une part, d'assurer la formation des ingénieurs électriciens roumains dans nos écoles ; d'autre part, de faire connaître aux industriels français les besoins de l'industrie électrique roumaine ainsi que les ressources que celle-ci ne peut manquer de trouver dans l'utilisation rationnelle des richesses hydrauliques de la Roumanie. Les tragiques événements qui se déroulèrent sur le front oriental fin 1917 retardèrent la mise à exécution de ses projets jusqu'au jour où la victoire des Alliés permettrait à la Roumanie de secouer définitivement le joug allemand. Ce jour étant enfin venu, M. Hurmuzescu ne tarda pas à mener à bien la première partie de sa mission et pour réaliser la seconde il fit, en janvier dernier, une communication à la Société française des Électriciens (1) où il montra l'état de l'industrie roumaine avant la guerre et indiqua les possibilités de son expansion après la guerre. C'est cette communication que nous reproduisons ci-dessous.

Les applications de l'électricité deviennent de plus en plus nombreuses et importantes et l'on assiste à une véritable invasion de l'énergie électrique dans tous les domaines industriels ; ainsi on peut dire que le développement industriel d'un pays, et d'une manière générale tout son développement économique, est commandé par le niveau de son industrie électrique. En retour, on ne peut pas considérer ni prévoir les progrès futurs de cette industrie sans analyser l'état présent du pays, ses éléments de richesse et son avenir économique.

Aussi, pour répondre au titre de cette communication, est-il indispensable de faire connaître sommairement l'essor économique de la Roumanie pendant les dernières années d'avant la guerre.

L'histoire de la nation roumaine depuis les premières années de sa formation, c'est l'histoire des luttes âpres qu'elle eut à soutenir sans cesse pour défendre son sol et son existence. Sa situation géographique et la richesse de son sol l'ont exposée spécialement à toutes les invasions barbares et aux convoitises de ses voisins. Seule de race latine, étouffée presque par les empires de proie slaves et mongols qui l'entouraient, elle eut trop peu de

(1) *Bulletin de la Société des Électriciens*, janvier 1919, t. IX (3e série), p. 33-54.

Digitized by Google

répit pour le développement des qualités civilisatrices de sa race, quoique, comme dit, vers 1838, Vaillant, grand ami et admirateur des Roumains : « Ce peuple qui chaque fois qu'il a pu prendre haleine a témoigné de sa soif des progrès de l'intelligence, etc. »

Cette reprise de souffle, ces moments d'accalmie, du commencement du siècle dernier, ont permis enfin à la Roumanie une vie d'activité sociale, intellectuelle et économique plus intense; dans les dernières années surtout, l'essor en fut considérable.

En 1829, les Dardanelles devenant libres par le traité d'Andrinople, les bateaux purent venir prendre nos produits, surtout des céréales, dans nos ports de Braïla et de Galatzi, ce qui favorisa considérablement la production.

Enfin, après la guerre de 1877-1878, la Roumanie gagne avec l'indépendance politique son ancienne province transdanubienne, avec le port de Constantza à la mer Noire.

Grâce à cette issue à la mer, l'exportation pouvant se faire pendant toute l'année sans être interrompue par les rigueurs de l'hiver, comme cela arrive pour les ports danubiens, l'activité agricole prend une grande intensité.

L'agriculture. — L'étendue des cultures en 1913 dépasse 7000000 hectares dont 2000000 hectares de blé.

D'après les tableaux comparatifs, la Roumanie, de tous les pays de l'Europe, possède, relativement à toute sa surface cultivée, la plus grande culture du blé. Et elle en produit de très bonne qualité, surtout en Moldavie.

Sa production, en 1913, a été de plus de 31 000000 hectolitres.

Il faut dire aussi que de cette quantité la consommation intérieure n'utilise qu'une faible partie, la population de la campagne préférant pour sa nourriture la farine de maïs.

L'évaluation des récoltes, d'après le Bulletin statistique de cette année (1913), donne un total de 1260000000 fr.

Etant donnée l'importance actuelle de ces produits et leurs prix, cela vaudrait au moins quatre fois plus.

Le pétrole. — Après les céréales, la richesse la plus importante de la Roumanie c'est le pétrole dont la production, en 1913, était de 1805225 t, notre pays étant le quatrième des pays producteurs.

On a exporté dans la même année

428 098	tonnes	de pétrole raffiné,
241 726	Id.	benzine,
377 688	Id.	résidus,
664	Id.	paraffine.

La France étant notre meilleur client pour ce produit.

L'augmentation de l'export. — Pour nous rendre compte de l'énorme progrès réalisé par notre état économique, nous allons montrer le chiffre de notre exportation de 1913, année de calme, qui monte à 670 705 335 fr.

Dans cette somme, les céréales et leurs dérivées figurent pour 448 412 269 fr, et en le comparant aux chiffres de notre export de l'année 1830, lequel se réduisait à cette époque à

2 700 000	lei	de céréales,
3 250 000	Id.	sel,
2 532 000	Id.	bétail,

on constate donc que le progrès est assez rapide et à juste titre nous donne de grands espoirs pour l'avenir.

L'industrie. — L'activité industrielle qui a suivi est de date encore plus récente, car avant 1875 elle était empêchée par la convention très onéreuse que l'Autriche-Hongrie nous avait imposée.

Ce n'est qu'après la loi de 1887, pour l'encouragement de notre industrie nationale, que le mouvement industriel devient plus important. Enfin la nouvelle loi de 1912 accorda de nouveaux avantages. Ainsi, en moins de vingt-cinq ans, elle prend un rapide développement et arrive à un capital investi de plus de 500000000 fr, travaillant chaque année pour plus de 400000000 fr de matières premières.

Parmi les plus prospères, on peut citer celles qui concernent les produits agricoles, les pétroles, les textiles, les bois, la cellulose, le papier, etc.

Balance commerciale. — Pendant les dix dernières années, le chiffre de l'export a dépassé toujours l'import.

La prospérité économique était dénotée aussi par l'accroissement continuel des dépôts dans les caisses d'économie et dans les différentes banques.

Le budget de l'Etat. — Dans le même intervalle de temps de vingt-cinq ans, le budget de l'Etat, qui était monté d'une manière lente et régulière vers le chiffre de 200000000 fr, éprouva une ascension beaucoup plus rapide, pour monter en 1916 à 645719300 fr.

Et il faut savoir que le contribuable roumain supportait une charge moitié moins grande que celle imposée au contribuable français.

Les excédents. — Pendant la série d'années prospères, nous avons eu à enregistrer des excédents budgétaires notables allant pour une des années jusqu'à 90000000 fr.

Les grands travaux. — Cette grande prospérité se traduit et se développe par un nombre considérable de travaux d'utilité publique, travaux d'art et de constructions.

Trois de ces travaux doivent retenir quelques minutes notre attention.

1° Le pont sur le Danube. — Fetesti-Cerna-Vode, sur lequel M. A. Muzet, ingénieur français, s'exprime ainsi : « Cet important ouvrage d'art, un des plus grands d'Europe, mesurant 28 km, a été construit par la So-

Digitized by Google

ciété française Fives-Lille. La partie principale, entièrement métallique, a 750 m de longueur et correspond au bras le plus large du fleuve. L'autre partie importante du pont, également métallique, a 420 m et correspond à un autre bras du Danube.

« Ces deux ponts sont reliés ensemble par deux viaducs, l'un de 900 m, l'autre de 650 m et une digue de pierre qui traverse tout le terrain marécageux. La construction de ce mastodonte a duré dix ans et a coûté 34 millions. »

2° L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE CONSTANTZA. — Lorsque nous prîmes possession de la Dobroudja, le port de Constantza ne présentait qu'un intérêt commercial très peu important, avait un trafic très faible, possédait un seul quai.

Depuis, les travaux exécutés et ceux qui sont en cours l'ont complètement transformé en un grand port moderne prévu avec des quais pour le chargement des céréales, des quais pour les pétroles et pour d'autres marchandises.

On y a introduit toutes les installations nécessaires et les machines spéciales pour la manutention de ces produits.

Les magasins pour les céréales peuvent contenir jusqu'à 140000 t dans les mille silos existants et l'on doit en construire d'autres.

Le chargement dans le silo et le déchargement se font automatiquement par des machines commandées à distance.

Le mécanisme s'accomplit à l'aide des élévateurs, bandes, balances à peser, trémies, tubes télescopiques mis en mouvement par des électromoteurs.

Les quais ont une surface de 100 hectares avec 60 km de voie ferrée; les bassins ont une étendue de 80 hectares pouvant contenir 50 bateaux de 5000 t chaque.

Les travaux auront coûté plusieurs centaines de millions de francs. Pour le développement futur de la nouvelle Roumanie, on doit prévoir un second port à la mer Noire, car celui-ci sera insuffisant.

3° LES CONDUITES SPÉCIALES DE PÉTROLE. — Construites pour pouvoir envoyer directement, jusque dans les réservoirs du port de Constantza, le pétrole brut de l'endroit même de son extraction et des usines de rectification.

C'est un travail de la plus grande importance, simplifiant la question du transport de ce service sur une distance de 200 km et déchargeant d'autant le service du chemin de fer.

Avec les trois conduites dans toute la longueur, les pompes pour faire les pressions nécessaires, les réservoirs intermédiaires, les constructions, etc., le travail a coûté plusieurs dizaines de millions de francs.

Le développement intellectuel. — La prospérité et le progrès de notre pays ont été déterminés, en grande partie, par le développement intellectuel dû à l'influence de la culture et de l'esprit français. Car c'est aux écoles françaises que nous avons pris, en même temps que les connaissances scientifiques, les idées larges et fécondes de vos penseurs.

Les affinités de notre race commune nous avaient attachés à la culture française et, depuis la seconde moitié du XVIIIe siècle, cette influence n'a fait que se développer et se raffermir. En reflétant dans ce coin de l'Europe un peu de la lumière française, nos sentiments d'affection sont restés inaltérables malgré toutes les difficultés, malgré tout notre isolement, et combien nous aurions aimé que nos rapports politiques et économiques fussent à la hauteur de nos sentiments.

Malheureusement, grâce à de multiples causes, nous devenions les clients de l'industrie allemande, et presque d'une manière exclusive en ce qui concerne les applications de l'électricité.

Les industries électriques. — Sauf de minimes exceptions on peut dire que toutes les installations, toutes les organisations et tous les équipements électriques en Roumanie ont été exécutés et conduits par l'industrie allemande, par les sociétés allemandes, en nous imposant en même temps les machines, le matériel et le personnel de même origine.

Ces trois grandes sociétés allemandes A. E. G. (Allgemeine Electricität Gesellschafft), S. H. (Siemens et Halske), S. S. (Siemens et Schukert), se partageaient ce domaine en tirant de gros bénéfices.

Les plus importantes applications de l'énergie électrique ont été faites dans l'éclairage public et privé, dans un grand nombre de villes et cela même avant les autres travaux de salubrité et d'édilité publiques, et à leur détriment peut-être.

Et dans les plus importantes de ces villes on a adopté la traction électrique pour les tramways.

Tous ces services se trouvent organisés dans des systèmes et par des équipements différents et variables et dénotent les caprices, les influences politiques et les intérêts électoraux de ces villes. Leur énumération et description ne présenteraient qu'un intérêt très relatif pour le moment.

En ce qui concerne l'organisation financière et économique, il nous suffit de savoir qu'une partie est concessionnée à des sociétés, en général allemandes, et une autre partie est administrée en régie par les communes respectives, après leurs installations par ces sociétés.

Comme exemple, nous pouvons citer la Société Siemens-Halske qui a obtenu la concession de l'éclairage électrique à Jassy pour 40 ans, en commençant depuis 1896.

L'équipement électrique est en courant monophasé à 3 000 v dans le primaire, 50 p : sec, et à 300 v dans le secondaire utilisable sur trois fils en deux ponts. C'est une des dispositions les moins recommandables, par suite des décharges très désagréables qu'on peut recevoir au commutateur par le défaut de l'isolement et par les différences de charges entre les deux ponts.

Cette cause produit dans certains cas une erreur systématique et toujours positive, lorsque la bobine de tension est disposée sur le pont le moins chargé.

Digitized by Google

D'après les renseignements qu'on peut avoir, les affaires de cette société sont très prospères.

La Société Siemens-Schukert a obtenu la concession des tramways électriques de Jassy ; équipement en courants continus à 500 v.

De même pour les villes de Braïla, Galatzi, Craïva, etc.

A Bucarest l'éclairage électrique de la ville a été concessionné à la Société du gaz (Franco-Belge) dont la concession pour l'éclairage au gaz venait à terme.

La puissance de cette centrale pour éclairage et force motrice est prévue pour le moment de 8 000 ch, en plusieurs unités, avec moteurs Diesel.

L'équipement est fait en courants triphasés, 5 000 v pour le primaire, le secondaire à quatre fils, 120 v entre phases.

Pour le transport en commun à Bucarest, il s'est fondé une Société communale des Tramways, très prospère et dont les actions sont très recherchées. L'équipement électrique est toujours en courants continus.

Centrales dans les régions pétrolifères. — Dans la région de Campina se trouve installée une usine électrique importante avec équipement en courants triphasés, 5 000 v dans le but de desservir comme force motrice et comme éclairage toute cette région pétrolifère.

On sait que sur le chantier même des sondes de pétrole, à cause de la présence des vapeurs et des mélanges explosifs, tous les moteurs autres que les moteurs électriques sans collecteurs sont dangereux.

On doit donc prévoir un grand développement de l'emploi de l'éclairage électrique dans ce genre d'exploitation.

La proximité d'un combustible très riche comme le pétrole, et l'utilisation même des gaz qui se dégagent de certaines sondes sont des conditions très avantageuses pour la création de puissantes centrales desservant des régions très étendues, jusqu'à Bucarest même.

Centrales puissantes dans les régions industrielles. — Une de ces régions est la région de Bacau-Piatra, où il y a des fabriques de papier, de drap, etc., où l'industrie du bois a pris un grand essor et qui fait entrevoir des progrès beaucoup plus importants. Comme dans cette région les gisements de pétrole paraissent moins riches que dans les autres régions, la société industrielle de Letea avait mis en étude un projet d'aménagement de la rivière Bistritza vers Bicaz pour une centrale électrique d'une puissance de quelques dix mille chevaux pour desservir toute la région jusqu'à Bacau.

Dans les mines de sel. — La Roumanie possède de très riches gisements de sels et exporte beaucoup de ce produit ; il y a en ce moment quatre mines en exploitation, éclairées à la lumière électrique. Mais avec le manque de main-d'œuvre on y emploiera la force motrice électrique pour faire marcher les perceuses et les autres instruments.

Dans les grands ports. — Les installations des grands ports du Danube et de la mer Noire demanderont de plus en plus, pour faire face à l'activité et à l'importance du trafic des céréales, l'utilisation exclusive de l'énergie électrique.

Pour la manutention des céréales qui passent dans les docks, les électromoteurs sont les plus indiqués, pour une raison donnée précédemment, les poussières des céréales pouvant s'enflammer en présenee des étincelles.

Il y a encore bien d'autres applications où l'emploi d'énergie électrique devient de plus en plus important.

Le matériel importé. — Mais en dehors des bénéfices réalisés par les sociétés allemandes dans ces entreprises, leur industrie profitait encore du placement des machines, appareils, instruments et matériel électrique de toute sorte.

Ainsi, d'après les statistiques officielles des dernières années avant la guerre, l'Allemagne exportait annuellement en Roumanie de ces articles pour une somme de presque 30 000 000 fr.

Le personnel. — Fidèles à leur méthode d'accaparement, les Allemands nous envoyaient en même temps leur personnel de techniciens et d'ingénieurs.

La Roumanie constituait ainsi pour l'économie allemande un triple avantage : un bon placement pour leur capital, un marché ouvert pour son industrie, et un débouché tout proche pour ses techniciens. Cette dernière invasion portait un grand préjudice à notre jeunesse, qui se voyait de la sorte évincée de ces places.

Cette expansion, qui menaçait notre vie économique et notre indépendance, constituait un véritable péril national. C'est pour le combattre que nos Universités se sont employées à diriger nos étudiants vers les enseignements techniques industriels en créant, auprès des Facultés des Sciences, des Instituts techniques, prenant comme exemples les instituts similaires créés en France.

Et dans le désir de les consolider et de les développer de manière à correspondre aux urgentes nécessités de l'après-guerre, dans la Roumanie de demain, nous avons été envoyés mes collègues et moi ici en France, pour recueillir vos conseils et bénéficier de votre expérience.

Je suis heureux de témoigner ici toute notre reconnaissance pour la très précieuse collaboration que nous ont accordée les membres de la Commission française.

Le projet élaboré n'aurait que le seul défaut de ne pas être appliqué faute de personnel enseignant et auxiliaire si la France ne pouvait nous aider dans cette voie. Elle aurait le plus grand intérêt à maintenir et développer son influence chez nous, par ces liens intellectuels susceptibles de créer de fortes relations économiques. Et cela en vaudra la peine, car la Roumanie nouvelle compte se mettre à l'œuvre avec ardeur. Sur le grand chantier du travail, l'industrie électrique doit être la plus indiquée pour dominer l'ensemble.

Par les quelques chiffres cités plus haut, on peut se rendre suffisamment compte des grands progrès et du

Digitized by Google

grand essor économique réalisés par la Roumanie d'avant la guerre, c'est-à-dire celle qui comprenait seulement la Valachie, la Dobroudja et la Moldavie, soit 139690 km² avec une population de 7 601 700 âmes.

L'avenir. — Par la réunion des autres provinces roumaines, Bessarabie, Bucovine, Transylvanie, Maramouresh, Crishana et Temishana, la Roumanie deviendra un pays de presque 300 000 km² (plus de moitié de la France) avec une population de 16 000 000 habitants, et de grandes perspectives d'augmentation par un excédent annuel de plus d'un quart de millions d'âmes.

Le pays ainsi constitué contient de grandes et nombreuses richesses non encore exploitées : dans la fertilité agricole de son sol et dans ses gisements pétrolifères, dans les dépôts de sels, dans l'abondance des minerais de toute sorte, charbon et métaux précieux dans le sous-sol du massif carpathique, comme aussi dans la grande quantité de houille blanche qu'on peut récupérer sur les pentes de ces montagnes.

Toutes ces richesses naturelles n'attendent que les conditions favorables pour leur mise en valeur.

On peut arriver facilement à obtenir plus d'un million de chevaux de cette énergie hydraulique pour la mettre, par l'énergie électrique, à la disposition d'un grand nombre d'industries à créer et à développer.

Une des conditions spécialement avantageuse pour l'utilisation de cette énergie est la position du massif des Carpathes, situé presque au milieu du pays. Les centrales éventuelles desserviront ainsi des régions à une distance maximum de 150 km. On peut donc prévoir les utilisations suivantes :

1° Grâce à la production agricole, laquelle apportera pendant nombre d'années une grande prospérité dans le pays, l'éclairage électrique prendra un grand développement partout, dans les villes, dans les ports, dans les régions pétrolifères, etc.

2° La traction électrique urbaine et interurbaine suivra forcément le même progrès.

3° L'emploi de la force motrice dans les différentes industries agricoles d'abord, et dans le travail agricole ensuite, sera de plus en plus généralisé ; il sera rendu facile et possible dans la culture intensive, qui remplacera dans un bref délai les cultures extensives actuelles, et cela comme conséquence de la nouvelle loi agricole qui supprime les propriétés latifundaires.

4° On peut prévoir dans les conséquences de l'énergie électrique à bon marché la création de l'industrie de la soude par l'électrolyse du sel.

5° La culture intensive du sol demandera l'emploi des engrais, ce qui déterminera la fabrication synthétique des nitrates.

6° L'électrométallurgie et la métallurgie générale, en s'appuyant sur celle qui existe déjà en Transylvanie, pourra prendre le plus grand développement grâce aux mines de charbon de Petroshani et aux minerais de fer et d'autres métaux qui se trouvent en abondance dans les montagnes voisines.

Il y aura certainement beaucoup d'autres applications qu'on ne prévoit pas encore et qui s'imposeront par la suite.

Dans toutes ces applications, le machinisme prendra un grand développement et les électromoteurs seront le plus indiqués, grâce à leurs avantages et à mesure que les centrales électriques agrandiront leur réseau d'alimentation.

En résumé, par ce rapide aperçu on peut prévoir que la Roumanie de demain — et nous pouvons dire celle d'aujourd'hui — possède de très grandes richesses naturelles dont l'exploitation n'a fait que commencer et pour quelques-unes seulement.

En même temps, la Roumanie possède un trésor inépuisable dans l'énergie morale et matérielle de son peuple travailleur, loyal et bon, sobre et hospitalier, ayant toujours lutté pour sa terre, pour la justice et pour la liberté. Maintenant que, grâce aux immenses sacrifices des peuples alliés, l'humanité pacifiée aura conquis le droit à une ère de calme et de lumière, le devoir de chaque peuple est de donner le maximum d'effort pour le bien-être commun.

La Roumanie, qui par sa situation géographique s'est trouvée être au cours des siècles la grande route de toutes les invasions barbares, pourra enfin, dans la nouvelle organisation du monde, bénéficier de cette position qui constitue la meilleure voie de communication entre le sud-est et l'occident de l'Europe.

Voici, Messieurs, en résumé, le grand champ d'activité qui nous convie et que nous ne pourrons pas organiser seuls.

Nous voudrions y voir les industries françaises tenir la meilleure place pour nous débarrasser à jamais de la main-mise allemande dont l'extension économique servait une politique d'asservissement.

C'est par l'influence de la culture française que nous avons développé et fortifié notre âme et notre conscience nationales.

C'est grâce aux victoires des armées françaises et alliées que nous réalisons notre idéal d'unité.

C'est avec le concours de la science et de la technique françaises que nous voudrions organiser le travail de notre production économique, et ce serait, je crois, pour le bien de nos deux pays.

Drag. HURMUZESCU,
Professeur à l'Université de Bucarest.

Digitized by Google

Revues, analyses et informations

Le parafoudre à pellicule d'oxyde.

Le parafoudre à pellicule d'oyde est constitué par une pellicule isolante en contact avec une poudre conductrice. Sous l'application d'une surtension, l'isolant sera percé, mais la poudre deviendra très rapidement isolante et bouchera tous les trous percés dans le premier isolant par la surtension. Cet appareil a les mêmes caractéristiques et par suite les mêmes avantages que le parafoudre électrolytique à aluminium, mais il n'exige pas d'inspection journalière et ne contient pas de liquides.

Nous empruntons les renseignements suivants à deux mémoires publiés l'un par M. Crosby Field, l'un des inventeurs de l'appareil, l'autre par M. Steinmetz (1).

On peut distinguer dans l'histoire des parafoudres trois périodes, correspondant aux trois périodes des applications de l'électricité. 1° Lignes électriques de puissance négligeable : le télégraphe et le téléphone.

2° Lignes d'énergie électrique de capacité électrostatique négligeable : éclairage et traction par courant continu, distribution secondaire et distribution primaire à 2 300 v par courant alternatif.

3° Lignes d'énergie à haute tension : lignes de transmission, etc.

Dans les lignes télégraphiques et téléphoniques, un minuscule éclateur relié au sol donnait jusqu'à ces dernières années la protection nécessaire contre les décharges de foudre, mais il faut maintenant s'occuper aussi des croisements avec les lignes d'énergie.

Dans les lignes d'énergie le simple éclateur relié au sol étant insuffisant, parce que le courant de ligne suivait l'arc de décharge, brûlait l'appareil et mettait la ligne en court-circuit, on a imaginé, pour les lignes de capacité électrostatique négligeable, le parafoudre à intervalles multiples entre métaux anti-arc (2). Son principe est celui-ci : la décharge de foudre à travers les intervalles met la ligne au sol, mais l'arc de puissance qui suit la décharge s'éteint à la fin de la demi-onde du courant alternatif, à cause de la nature anti-arc des intervalles. Cet appareil opère donc un court-circuit pendant une partie de la demi-onde. Il ne convient évidemment qu'aux courants alternatifs.

La question de la résistance a causé des difficultés qui ont duré des années. S'il n'y a pas de résistance en série, la puissance mise en jeu dans le court-circuit d'un grand réseau, même pendant une partie seulement de la demi-onde, peut suffire pour détruire le parafoudre, tandis qu'une résistance en série, si elle limite le courant de puissance et protége ainsi l'appareil, limite aussi la capacité de décharge et diminue ainsi la protection. On a résolu le problème par l'emploi d'intervalles multiples shuntant la résistance en série, de sorte que les décharges moyennes passent à travers cette résistance, tandis que les décharges de grande puissance se frayent passage à travers les intervalles shuntés, et en même temps la résistance shunt rend instable l'arc dans les intervalles shuntés et aide à l'extinction du court-circuit à la fin de la demi-onde.

Mais dès qu'on commença à faire usage de réseaux à capacité électrostatique considérable (lignes de transmission à haute tension vastes réseaux de câbles souterrains, ou réseaux à tension relativement basse, y compris les circuits d'alternateurs, reliés par induction à de tels réseaux), les parafoudres à intervalles multiples furent généralement brûlés par les décharges. C'est qu'en effet, dans les réseaux de ce genre, il peut se produire des oscillations entre capacité et inductance, mises en mouvement par une décharge de foudre ou par une perturbation interne telle qu'une manœuvre d'interrupteur, et il s'ensuit des oscillations à haute fréquence répétées, dont l'arc à la terre sur une ligne de transmission est le genre le mieux connu. Sous ces décharges continuelles, souvent plusieurs par demi-onde, le parafoudre à intervalles se court-circuite à la première oscillation, pour le reste de la demi-onde, et quoique l'appareil fonctionne normalement et coupe le court-circuit à la fin de la demi-onde, l'oscillation de la demi-onde suivante fait encore court-circuit et ainsi de suite, de sorte que l'effet est celui d'un court-circuit permanent, et aucun parafoudre, quelles que soient ses dimensions, ne peut dissiper l'énergie du court-circuit d'un grand réseau pendant un temps appréciable.

Pour ces réseaux où les oscillations à haute fréquence répétées, comme celles des arcs à la terre, peuvent se produire, il faut un parafoudre qui ne mette pas en court-circuit le courant des machines même pendant une fraction de la demi-onde, mais qui décharge seulement l'excédent de tension, dont l'oscillation, quelque élevée qu'elle puisse être en volts, est faible en énergie en comparaison de l'énergie du court-circuit du réseau puisqu'elle représente seulement l'énergie emmagasinée de la capacité et de l'inductance. Jusqu'ici le seul parafoudre de ce genre était le parafoudre électrolytique à aluminium. Il se comporte, vis-à-vis d'une décharge de surtension, comme une force contre-électromotrice égale à la tension normale du réseau, et le courant de décharge qui passe dans le parafoudre est ainsi le courant de court-circuit de l'excédent de tension, tandis que la tension normale du réseau est maintenue en dehors de la décharge. Ce parafoudre peut ainsi décharger des perturbations continuelles, des oscillations de surtension se produisant à chaque demi-onde, pendant un temps considérable, une demi-heure à plusieurs heures, avant d'être mis en danger par l'échauffement dû à l'énergie accumulée de ces décharges.

C'est le seul parafoudre qui puisse protéger les grands réseaux modernes, aussi l'y a-t-on partout adopté, en dépit de ses inconvénients : nécessité d'une charge journalière, emploi d'un électrolyte liquide, et difficulté de vérifier l'appareil sans le débrancher, sauf en observant l'apparence de l'arc de charge, ou en mesurant le courant de charge.

Le nouveau parafoudre ne demande aucune autre surveillance que celle qu'on donne à tout appareil dans une exploitation bien dirigée, c'est-à-dire une visite au moins une ou deux fois par an. Ses caractéristiques de fonctionnement sont les mêmes que celles du parafoudre à aluminium. Son fonctionnement est basé sur le fait que certains composés chimiques secs peuvent passer avec une extrême rapidité de l'état de très bons conducteurs électriques à l'état d'isolants

(1) Le parafoudre à pellicule d'oxyde, par Crosby Field. — Le parafoudre à pellicule d'oxyde, par F. Steinmetz. *Proceedings of the American Institute of Elect. Eng.*, juin 1918, t. XXXVII, p. 541-550 et 551-560, 3 000 et 3 300 mots, 7 et 7 fig.

(2) Antérieurement d'autres appareils avaient été inventés, dont l'un, le parafoudre à soufflage magnétique, est encore employé dans les réseaux de traction à courant continu.

Digitized by Google

presque parfaits par application d'une légère quantité de chaleur. Le bioxyde de plomb en est un exemple. Il a une résistivité de 2,54 ohms : cm : cm² (1 ohm : pouce : pouce carré). Sa résistance varie avec la pression à laquelle on l'a comprimé. A une température d'environ 150°C le bioxyde de plomb PbO^2 se transformera par réduction en Pb^3O^4. Ce corps a une résistivité d'environ 61×10^6 ohms : cm : cm² (24×10^6 ohms : pouce : pouce carré). A des températures légèrement plus élevées, cet oxyde Pb^3O^4 passe par réduction, par l'intermédiaire du sesquioxyde Pb^2O^3, à la litharge PbO, qui est pratiquement un isolant.

Le bioxyde de plomb est normalement à l'état pulvérulent. Si l'on place cette poudre entre deux électrodes et qu'on fasse passer un courant, la résistance au contact du bioxyde et du métal cause un échauffement local à la surface. Quand cette chaleur est suffisante pour créer une élévation de température de 150°C, il se forme une couche des oxydes inférieurs de plomb, couche isolante qui arrête le courant. Comme ce mode de formation de la pellicule isolante sur une grande surface est assez irrégulier, on préfère opérer autrement dans la pratique industrielle, en déposant sur les plaques métalliques une couche isolante initiale (c'est d'ailleurs aussi ce qu'on fait dans la fabrication du parafoudre électrolytique à aluminium). Cette couche peut être de verre, de toile, d'huile, de peinture, de vernis, de laque, etc. La meilleure méthode consiste à plonger dans du vernis ou de la laque des surfaces parfaitement brunies de bronze, d'acier ou de cuivre ; c'est celle qu'on emploie pour l'appareil industriel.

Tel est le principe du parafoudre industriel à pellicule d'oxyde, dont un élément unique est représenté figure 1. Il

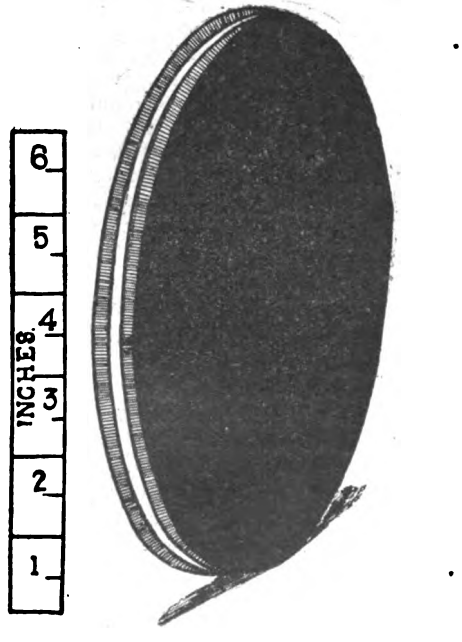


Fig. 1. — Graduation en inches : 1 inch, 2,54 cm.

comprend deux électrodes en tôle métallique, placées à environ 12,7 mm d'écartement, l'une d'elles ou toutes les deux recouvertes d'une mince pellicule isolante et l'espace entre les plaques rempli de bioxyde de plomb. La figure 2 représente les pièces démontées d'un seul élément. A la tension admissible de 300 v par élément, la pellicule isolante empêche tout courant appréciable de passer, les conditions étant normales. Dès que la tension s'élève légèrement au-dessus de la normale, la pellicule se crève en un ou plusieurs endroits microscopiques et la décharge de foudre, ne trouvant pratiquement plus de résistance, s'écoule à la terre. Le courant dynamique commence à suivre, mais en raison du fait que l'isolant n'a été percé qu'en quelques petits points, la densité de courant en ces points est extrêmement grande.

Fig. 2. — De gauche à droite, un disque d'acier serti sur une bague de porcelaine, un tas de bioxyde de plomb, l'autre disque d'acier et une rondelle d'asbeste.

Il en résulte un échauffement localisé qui élève rapidement la température à une valeur suffisante pour changer en litharge isolante tout le bioxyde conducteur dans ce minuscule trajet du courant en contact avec les électrodes. La pellicule se referme donc, arrêtant tout passage de courant dynamique. Cette action est si rapide que sa durée ne peut être mesurée sur un oscillographe donnant 2 000 p : sec, c'est-à-dire que la cicatrisation se produit moins d'un quatre millième de seconde après que l'excès de tension instantanée a cessé. La résistance ohmique pendant la décharge est très faible (moins de 1 ohm par élément). Il offre donc, quand la couche isolante est percée, une très faible impédance au passage de l'énergie sous tensions anormales.

La figure 3 met en regard les caractéristiques volts-ampères de l'élément à pellicule d'oxyde et de l'élément à aluminium. L'élément à oxyde ne laisse passer que quelques milli-ampères de courant de perte jusqu'à la ten-

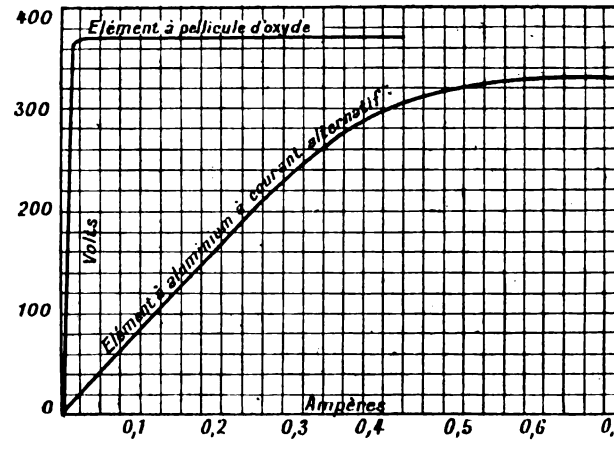


Fig. 3. — Caractéristiques volts-ampères de l'élément à pellicule d'oxyde et de l'élément à aluminium.

sion critique de sa pellicule, point où celle-ci se perce plus soudainement que la pellicule de l'élément à aluminium. La tension critique de la pellicule d'oxyde peut être rendue à peu près aussi basse que celle de la pellicule d'hydroxyde de l'élément à aluminium.

Dans tous les parafoudres industriels à oyde, employés

Digitized by Google

pour le courant alternatif, le facteur de puissance est presque l'unité. On peut dans des cas spéciaux lui donner toute valeur comprise entre 0,1 et 1, en mêlant à l'oxyde conducteur d'autres matières non conductrices.

Un certain nombre de ces éléments, suivant la tension du réseau, sont empilés les uns sur les autres, avec un éclateur en série. Cet éclateur est nécessaire pour la même raison qu'avec le parafoudre à aluminium : l'appareil, en courant alternatif, est le siège d'un courant de perte qui use les plaques des éléments. On règle cet éclateur pour une tension légèrement supérieure à la tension normale en ligne.

Comme la pellicule du parafoudre à oxyde n'entre pas en dissolution, à la différence de ce qui se produit dans le parafoudre électrolytique, il n'y a pas lieu, et il est même contre-indiqué, de charger l'appareil. Ceci permet son emploi dans des locaux où il n'y a pas de personnel. De plus, ne contenant pas de liquide, sa congélation n'est pas à craindre.

Dans le parafoudre à oxyde, les électrodes n'ont rien à faire avec l'arrêt des surtensions et l'on peut adopter pour elles toute matière convenable. On a tout d'abord employé le bronze, mais on emploie maintenant le fer galvanisé, dont le point de fusion est plus élevé; il peut ainsi supporter des décharges de grande puissance, qui perceraient des trous par fusion dans les électrodes de bronze.

Comme les éléments sont hermétiquement fermés, le métal des électrodes étant serti sur l'anneau séparateur en porcelaine, on peut les installer à l'extérieur aussi bien qu'à l'intérieur d'un bâtiment. Dans les installations au dehors, il faut seulement les munir de cloches d'abri, comme le montre la figure 4, pour empêcher la pluie de

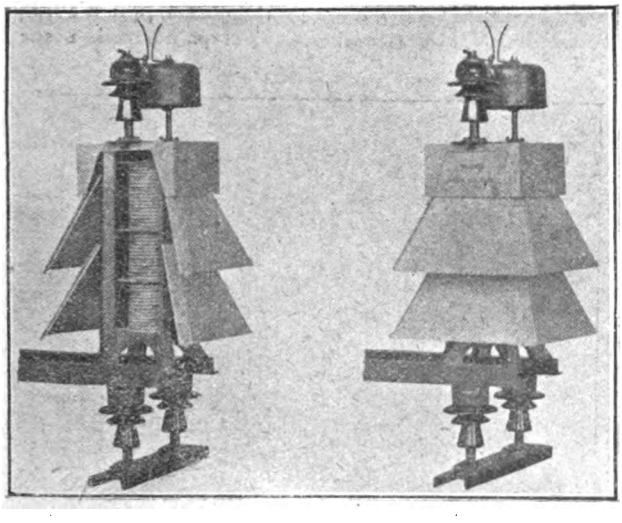


Fig. 4. — Coupe et vue d'ensemble d'un parafoudre, type d'expérience pour 15 000 ou 25 000 volts.

mettre les éléments en court-circuit. Ces cloches sont en métal. La figure représente un modèle de parafoudre pour extérieur et pour tension de 15000-25000 v ; un côté de l'abri est enlevé pour montrer la disposition intérieure. On y voit aussi les éclateurs, qui sont eux-mêmes protégés et à électrodes sphériques pour donner une décharge instantanée, avec des cornes accessoires pour que l'arc puisse s'élever et s'éteigne plus facilement.

Résultats d'essais. — Pour le tracé des courbes caractéristiques de décharge donnant les ampères en fonction des volts, le parafoudre à pellicule d'oxyde ne se prête pas aussi facilement à l'essai que le parafoudre électrolytique. La tension critique de sa pellicule est très nette, mais le passage de l'absence de conduction à la pleine conduction est plus brusque. Le tracé de la décharge sous tension double se voit donc mieux en appliquant une tension double à l'élément et en réduisant ensuite la tension à sa valeur normale par élément. C'est un essai très dur, car on fait ainsi passer une quantité d'énergie considérable à travers les éléments.

Pour faire passer commodément la tension du double de la valeur normale à la normale, on s'est servi d'un transformateur 2 300 : 22000 v dont l'enroulement à haute tension est formé de deux bobines en série donnant chacune 11 000 v, avec une prise de courant entre les deux. On applique d'abord la tension totale, puis une commutation automatique relie les contacts du parafoudre aux extrémités d'une seule des bobines, ce qui diminue la tension de moitié. Cette opération se fait automatiquement au moyen de trois fusibles à expulsion dont les gaz explosés, chauds et conducteurs, mettent successivement en court-circuit des éclateurs. On peut, par ce moyen, appliquer momentanément 22 000 v sur un parafoudre à 11000 v et observer l'allure de sa décharge et de son retour aux conditions normales quand la tension est redevenue normale. On a enregistré ainsi des oscillographies telles que celle de la figure 5. La

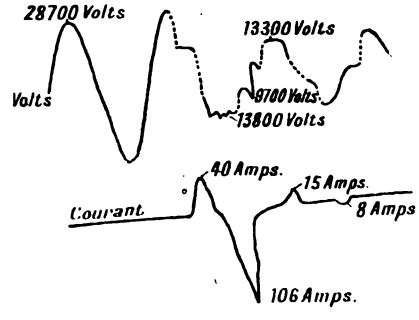


Fig. 5.

courbe supérieure, où la tension maximum est de 28700 v, représente la mise en circuit du parafoudre au moment où l'onde de tension commence à décroître après son troisième maximum. La tension tombe immédiatement à la valeur critique des éléments, environ 13500 v. Sur la courbe inférieure, on voit le courant s'élever alors à 40 A. Quand la tension s'inverse pour arriver à 13800 v dans le sens négatif, comme le montre la courbe supérieure, le courant (courbe inférieure) s'élève à 106 A. Les manœuvres automatiques de commutation produisent plusieurs ressauts électromagnétiques que montre l'irrégularité de l'onde de tension dans la branche ascendante de la demi-onde suivante, où elle s'élève à un maximum de 13300 v. Sous cette tension appliquée plus faible, le courant dans la série d'éléments est 15 A, comme le montre la courbe inférieure. Dans la demi-onde suivante, le courant ne s'élève qu'à 8 A. Dans la dernière demi-onde de tension figurée, alors que la commutation est achevée et que l'onde a sa forme normale, sans dentelures, le courant dans les éléments est trop faible pour être enregistré par l'oscillographe ; il est de l'ordre des milliampères, la pellicule de litharge ayant alors complètement bouché les trajets de décharge.

D'autres essais ont été faits à l'oscillographe, dont quel-

Digitized by Google

ques-uns sont décrits par les auteurs. L'un de ces essais a consisté à soumettre l'appareil à une oscillation répétée (*surge*) qu'on faisait naître au moyen d'un grand condensateur relié à une source de courant alternatif et se déchargeant dans un éclateur à travers une inductance. Cette oscillation était appliquée à l'appareil à protéger, un transfor-

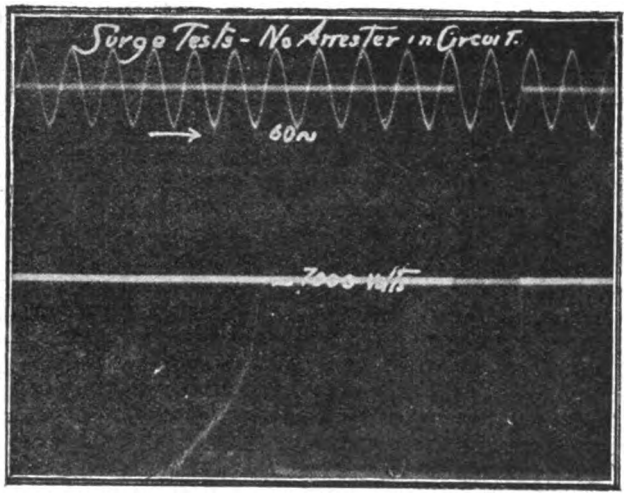


Fig. 6. — Décharge d'une surtension momentanée à front raide. Pas de parafoudre.

mateur alimenté par un autre courant alternatif, sur lequel on plaçait le parafoudre en dérivation. Les oscillations, qui, sans le parafoudre, s'élevaient à 2800 v, ont été, par l'action de celui-ci, nettement abaissées à une valeur de 500 v environ, soit 60 pour 100 au-dessus de la tension du réseau qui alimentait le transformateur à protéger : c'est la valeur à laquelle l'éclateur du parafoudre avait été réglé. Les oscillographies représentant cet essai ne sont pas assez nettes pour être reproduites.

Un autre essai, représenté par les figures 6 et 7, montre l'action protectrice du parafoudre à pellicule d'oxyde sur un circuit à courant continu à 550 v, contre une tension de choc unique (non oscillatoire) ou onde à front raide (*impulse*). Cette onde est produite par la coupure d'un circuit fortement inductif (moteur de traction). La courbe inférieure de la figure 6 est l'oscillographie de cette onde dans le circuit à 550 v ; elle s'élève à 7000 v. La courbe supérieure n'est qu'une onde à 60 p : sec mesurant le temps, et permettant de connaître la durée de l'onde instantanée à front raide (1). La figure 7 représente le même circuit, mais shunté par un parafoudre. La tension de choc s'élève à la valeur pour laquelle l'éclateur du parafoudre est réglé, en l'espèce 2200 v. Le parafoudre décharge alors, et la tension retombe instantanément à la valeur normale, tandis qu'un courant de décharge lentement décroissant passe à travers le parafoudre, dissipant l'énergie magnétique de l'onde momentanée.

Les parafoudres à pellicule d'oxyde fonctionnent avec

(1) La ligne médiane est la ligne de zéro du troisième équipage, destiné à enregistrer l'intensité dans le parafoudre, qui n'était pas en service dans ce premier essai.

succès, certains depuis plus de trois ans, dans un grand nombre d'installations, à des tensions de 110 à 33000 v.

L'obligation d'employer un éclateur en série est le seul trait fâcheux que cet appareil partage avec le parafoudre à aluminium, le parafoudre à intervalles multiples et d'autres types. Quoique, grâce aux travaux de M. Peek, on sache maintenant rendre l'éclateur à décharge « instantané », c'est-à-dire plus rapide que tout autre passage de décharge dans les intervalles d'air ou à travers les isolements du réseau, de sorte que le parafoudre protège efficacement contre toute surtension supérieure à sa tension de décharge, il ne décharge pas les tensions inférieures à la tension de décharge de son éclateur, même si ces tensions sont dangereuses pour le réseau par leur fréquence élevée. Ces basses tensions ne peuvent endommager l'isolation principale entre conducteurs et sol, mais elles peuvent, si leur fréquence est assez haute, conduire à des accumulations locales de tension dans les parties inductives du réseau telles que régulateurs, transformateurs d'intensité, spires et bobines d'extrémité d'alternateurs et de transformateurs et y causer des dégâts en perçant l'isolation entre spires et produisant des courts-circuits internes.

Contre ces perturbations à haute fréquence et à tension modérée, la seule protection actuelle consiste à ajouter au parafoudre un passage de décharge par capacité reliant d'une façon permanente les circuits au sol. Ce passage à capacité devrait être sans résistance pour aplanir les fronts d'onde raide et contenir une résistance en série de valeur moyenne pour dissiper l'énergie à haute fréquence et arrêter dès leur début les oscillations répétées. J'espère, dit M. Steinmetz, voir bientôt un parafoudre du type de l'élément à pellicule d'oxyde ou à aluminium, qui n'aura pas d'éclateur, mais sera continuellement en dérivation sur le

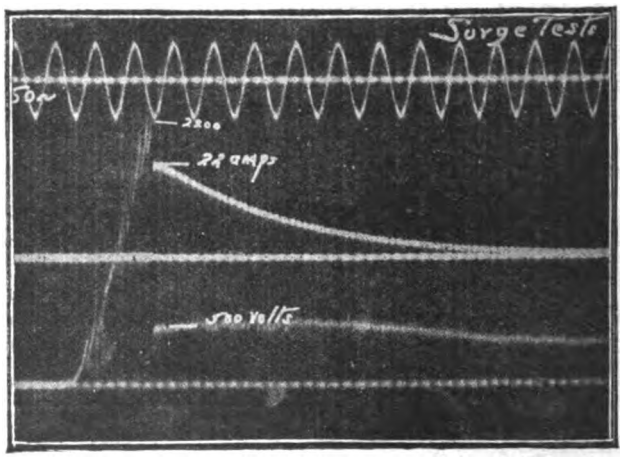


Fig. 7. — Décharge d'une surtension momentanée à front raide. Parafoudre en circuit.

circuit et garantira ainsi non seulement contre les surtensions, mais aussi contre les fronts d'onde raide et les oscillations à haute fréquence, même si leur tension est inférieure à celle du réseau. Un tel parafoudre donnerait alors une protection universelle.

P. L.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Revues, analyses et informations

Le capital et le travail en France : les conventions collectives de travail.

Dans son numéro du 18 février 1919, le « Journal officiel » reproduit, pages 769-772 des Documents parlementaires, Sénat, le rapport qu'a déposé, dans la séance du 17 décembre 1918, M. Paul Strauss, sénateur, au nom de la « Commission chargée d'examiner le projet de loi, adopté par la Chambre des Députés, relatif aux conventions collectives de travail ». C'est ce rapport que nous analysons ci-dessous.

I. — Tout d'abord le rapporteur fait un historique succinct de la question du contrat collectif entre employeurs et employés.

« La convention collective du travail, dit-il, est d'origine contemporaine; les accords qu'ont relatés les historiens sous l'ancien régime sont, à proprement parler, des contrats d'entreprise ou des contrats d'équipe. Les premières conventions réellement conclues portent sur des fixations de tarifs, à partir de la Révolution française jusque sous la République de 1848; elles n'avaient, suivant la juste observation de M. Arthur Groussier, qu'une existence de fait et non un caractère légal, puisqu'elles étaient en opposition flagrante avec les principes posés par la loi des 14-17 juin 1791 en vertu de laquelle étaient interdits les groupements professionnels.

» Une ère nouvelle s'est ouverte à partir de la loi de 1884 sur les syndicats professionnels et celle du 27 décembre 1892 sur la conciliation et l'arbitrage. Dans son remarquable rapport à la Chambre des députés, M. Arthur Groussier a présenté l'historique complet du développement de la convention collective de travail proprement dite; il a fait une place spéciale aux sentences arbitrales, aux conventions d'Arras; il a indiqué les principaux types de ces accords, conventions des blanchisseurs de la région parisienne, des gantiers de Millau, des mineurs de Graissessac, des tisseurs veloutiers de Saint-Etienne, des tullistes de Calais, des maçons de la Roche-sur-Yon, des rubaniers de la Loire, des dockers de Marseille, de l'industrie textile d'Armentières, des ouvriers agricoles et viticoles d'Arles, des ouvriers en voiture de Paris, des porcelainiers de Limoges, du personnel des tramways de Lyon, des ouvriers en chaussures de Fougères, des métayers et résiniers de Rion-des-Landes, des maçons de Paris, des tullistes de Lyon, des employés de commerce de Marseille, des artistes lyriques de Paris.

» Parmi les sentences arbitrales, quelques-unes, les plus célèbres, doivent être rappelées : celle concernant les mineurs de Carmaux, avec MM. Clemenceau, Pelletan et Millerand, comme délégués des ouvriers et M. Emile Loubet comme arbitre; celle des métallurgistes du Creusot, avec l'arbitrage de M. Waldeck-Rousseau accepté par M. Schneider sur la proposition de MM. Henri Turot et René Viviani; celle des mineurs de la Loire rendue par MM. Gruner et Jean Jaurès; une autre des mineurs de la Loire sur le tiers-arbitrage de M. Ballot-Baupré, départageant MM. A. Cholet et Aristide Briand, etc., etc. La plupart des grèves qui ont éclaté dans les bassins houillers du Pas-de-Calais et du Nord se sont heureusement terminées par des sentences ou des arraugements.

» Le « Bulletin du Ministère du Travail » enregistre et analyse depuis 1919 non seulement les conventions collectives conclues à la suite de l'intervention du juge de paix, conformément à la loi du 27 décembre 1892, mais encore toutes celles qui lui sont signalées soit par les préfets, soit par les questionnaires mensuels, les journaux corporatifs, etc. »

II. — Après avoir indiqué par quelques tableaux, les nombres des conventions collectives signalées depuis 1910, M. Strauss examine quelles ont été les conséquences de ces conventions au point de vue de la jurisprudence et de la législation.

« Peu à peu, par la signature de plus de 2 000 conventions collectives du travail, de 1893 à 1914, la jurisprudence s'est formée. La Cour de Cassation, par son arrêt du 17 juillet 1910, déclara que la convention conclue par des délégués mandatés régulièrement par la majorité d'un syndicat engage les membres de la minorité qui n'ont pas manifesté leur volonté de reprendre leur liberté d'action en démissionnant et qui n'ont pas dérogé à la convention collective par une convention individuelle. La Cour d'Appel de Lyon, dont l'arrêt a été confirmé par la Cour de Cassation, a proclamé la recevabilité de l'action syndicale en exécution du contrat collectif.

» Toutes les décisions des cours, des tribunaux civils et de commerce, des juges de paix, des conseils de prud'hommes, sont loin d'être en parfaite concordance. C'est pourquoi le gouvernement, d'abord par l'organe de M. Gaston Doumergue, ensuite sur l'initiative de M. René Viviani, avait considéré qu'il y avait lieu de déterminer les conditions de valabilité de la convention collective, à la fois pour lui conférer une valeur légale et pour mettre un terme aux variations, aux incertitudes de la jurisprudence.

» Il est à noter qu'à cette époque ces projets de réglementation étaient accueillis avec méfiance dans les milieux intéressés. Les Chambres de Commerce contestaient le principe et la légitimité des conventions collectives; les organisations ouvrières repoussaient le contrat légal.

» La Société d'Études législatives, sur le rapport de M. Colson; l'Association nationale française pour la Protection légale des travailleurs, sur les rapports de MM. Perreau et Fagnot; le Comité républicain du Commerce, de l'Industrie et de l'Agriculture, sur le rapport de M. Gavelle, ont, au contraire, fourni aux travaux préparatoires du

Digitized by Google

Gouvernement et de la Chambre la collaboration la plus utile et le support le plus solide.

» A l'Association nationale française pour la protection légale des travailleurs, M. Fagnot faisait cette déclaration : « Donner à la convention collective une valeur légale, » régler sa forme et son contenu, délimiter sa durée et ses » effets, c'est faire œuvre utile pour l'industrie et pour le » pays. Pourtant, je crois fort que, pendant nombre » d'années, sa valeur et son développement proviendront » moins de la loi que de l'effort collectif des intéressés. » La loi est utile, mais elle ne pourra donner des résultats » que dans la mesure où employeurs et employés recon- » naîtront librement les avantages de la convention collec- » tive et voudront la pratiquer. »

» Après la plus consciencieuse étude, la Commission du Travail de la Chambre, sur le substantiel rapport de M. Arthur Groussier, tint compte des observations présentées par la Société d'Études législatives et des préoccupations des intéressés : « Nous sommes loin d'avoir réalisé » une œuvre parfaite, déclarait le rapporteur, ce qui n'est » pas très facile dans une matière aussi complexe et aussi » nouvelle, mais nous pensons avoir comblé quelques » lacunes et corrigé plusieurs imperfections de la juris- » prudence en établissant un certain nombre de règles qui » permettront à la convention collective de se développer » normalement. »

» Les événements ne devaient pas tarder à justifier les prévisions de M. Fagnot et de M. Arthur Groussier. Au cours de la guerre, l'évolution se produisit, s'accentua dans des conditions exceptionnelles et imprévues. »

III. — Le rapporteur expose alors les résultats auxquels ont donné lieu les 198 conventions collectives qui ont été relevées de janvier 1917 à octobre 1918. Sur ces conventions, 61 se rapportent à l'industrie du vêtement, 106 aux usines de guerre et 13 à des industries diverses ; les 18 autres sont des conventions passées après grèves et non comprises dans les nombres précédents.

Nous ne suivrons pas M. Strauss dans le détail de cet exposé, et nous nous bornerons à reproduire ce qu'il écrit au sujet des conventions concernant les usines de guerre.

« Le nombre des contrats conclus, depuis le début de 1917 et jusqu'au milieu d'octobre 1918, entre patrons et ouvriers des usines de guerre dépendant du ministère de l'Armement s'est élevé à 81. Ces contrats intervenus soit entre des représentants des syndicats de patrons et d'ouvriers, soit entre des délégués ouvriers et un ou plusieurs patrons, ont tous, sauf un, fixé des conditions de salaires, avec ou sans prime de vie chère, soit pour une industrie ou une région déterminée, soit pour un établissement ou un groupe d'établissements particuliers (fixation d'un salaire minimum, rémunération des heures supplémentaires ou du travail de nuit ; prix de façon de certains articles ; durée du travail, etc.). Certains d'entre eux n'ont fait que compléter ou modifier des conventions antérieures. Dans un cas, le contrat fixe le type des essais qui doivent être demandés à certaines catégories d'ouvriers électriciens.

» En outre, il y a lieu de mentionner que 25 accords environ ont été signés par des établissements particuliers devant le comité permanent de conciliation et d'arbitrage de Paris. Ces accords, qui sont des contrats collectifs dans une certaine mesure, intéressaient certaines catégories d'ouvriers dans des établissements de mécanique, d'électricité et ont mis fin à des conflits partiels.

» Le total des accords intéressant les usines du ministère de l'Armement s'élèverait ainsi à 106.

» La grande majorité des 81 contrats cités plus haut intéresse la mécanique et la métallurgie où l'on en relève 49. Viennent ensuite la fonderie (8), les produits chimiques (3), les produits réfractaires (3). On en compte 2 dans chacune des industries suivantes : constructions navales, bâtiments, travail du laiton, serrurerie et équipement militaire, masques contre les gaz, layetiers-emballeurs, industrie électrique et 1 dans la fabrication de la chaux et du ciment, le caoutchouc, la fabrication des gaz asphyxiants.

» Au point de vue territorial, les accords se répartissent comme suit :

1 contrat dans chacun des départements suivants : Allier, Hautes-Alpes, Aveyron, Indre-et-Loire, Landes, Maine-et-Loire, Meuse, Meurthe-et-Moselle, Nièvre, Oise, Orne, Haute-Savoie, Somme, Tarn ;

1 dans les Bouches-du-Rhône, Cher, Manche, Saône-et-Loire, Seine-et-Marne, Var ;

3 dans la Côte-d'Or, la Loire, la Haute-Marne ;

4 dans l'Eure, la Seine-Inférieure ;

5 dans la Loire-Inférieure, la Savoie ;

7 dans l'Isère et en Seine-et-Oise ;

14 dans la Seine.

» Une circulaire du ministère de l'Armement, en date du 15 octobre 1918, précise ainsi la portée de ces contrats :

» Lorsqu'une convention est intervenue entre un syndicat patronal et un syndicat ouvrier, il y a lieu, pour en contrôler l'application, de se reporter à la disposition de l'article 3 du décret du 10 août 1899 aux termes de laquelle l'Administration doit, pour la vérification du taux normal et courant des salaires, se référer autant que possible aux accords entre syndicats patronaux et ouvriers de la localité ou de la région. Il s'ensuit qu'en ce qui concerne les salaires courants, les stipulations de ces accords s'imposent à tous les industriels qui, par la nature des travaux qu'ils exécutent, se trouvent implicitement visés par ces conventions.

» Toutefois certaines clauses de ces accords peuvent avoir un caractère particulier et ne pas s'appliquer de plein droit en exécution de l'article 3 du décret du 10 août 1899. Telles sont, par exemple, des dispositions particulières relatives à l'attribution d'indemnités spéciales pour charges de famille. Les allocations de cette nature constituent une libéralité consentie spontanément par les industriels à leurs ouvriers et ne sauraient être prises en considération dans la constatation du salaire normal et courant de la région. Les stipulations de ce genre contenues dans une convention collective doivent être considérées comme un engagement pris par le syndicat patronal d'obtenir de ses adhérents le payement des indemnités pour charges de famille. C'est donc par l'intermédiaire du syndicat patronal que doivent être réglées toutes les difficultés auxquelles donneraient lieu ces dispositions particulières.

» J'ai été consulté, d'autre part, sur la portée que peut avoir un accord conclu entre un ou plusieurs patrons et des délégués de leurs ouvriers ou d'une organisation syndicale ouvrière. L'article 3 du décret du 10 août 1899 ne m'autorise à étendre à l'ensemble des établissements d'une industrie déterminée le salaire fixé dans un contrat collectif, que dans le cas où cet accord a été conclu entre les syndicats patronaux et les syndicats ouvriers d'une région ou d'une localité. Tel n'est pas le cas d'un arrangement qui ne concerne qu'un certain nombre d'industriels. Les salaires fixés par cet accord ne sont pas applicables de plein droit aux industriels qui n'y ont pas adhéré et ne peuvent être considérés comme constituant les salaires normaux et courants de la région. Il peut seulement être fait état de ces accords parti-

Digitized by Google

culiers dans les enquêtes qu'effectuerait une commission mixte réunie en exécution du décret du 10 août 1890 pour procéder à une constatation des salaires courants. »

IV. — M. Strauss examine comment se présente la question à l'heure actuelle.

« Au cours de l'année 1918, la Commission mixte de la Seine, chargée d'étudier les questions relatives au maintien du travail, fut invitée par son président à émettre son avis sur le projet de loi soumis à l'examen du Sénat. Une Sous-Commission fut nommée à cet effet, et, sur le clair rapport de M. Georges Renard, une très intéressante discussion s'engagea devant la Commission plénière, au cours de laquelle un industriel, M. Doucède, remplit les fonctions de rapporteur-adjoint en l'absence de M. Georges Renard.

» Au rebours de ce qui s'était passé antérieurement à la guerre, les représentants les plus qualifiés et les plus compétents des employeurs et des travailleurs, furent unanimes à admettre le principe et l'utilité de la convention collective de travail.

» Par un scrupule des plus respectables, la Sous-Commission d'abord, la Commission ensuite s'attachèrent à suivre dans ses dispositions le texte adopté par la Chambre.

» En cours de débat, toutefois, M. Luquet proposa de compléter le texte adopté par la Commission dans le cadre du rapport Groussier par un amendement qui, finalement et après modification, a recueilli l'adhésion unanime.

» Cet amendement se réfère à la procédure inaugurée par la loi du 11 juin 1917 sur le repos de l'après-midi du samedi dans l'industrie du vêtement.

» Aux termes de cette loi, le repos pendant l'après-midi du samedi sera, jusqu'à nouvel ordre, assuré aux ouvrières de tout âge dans des conditions déterminées pour chaque profession et pour chaque région, en tenant compte des besoins du travail dans les diverses saisons, par des règlements d'administration publique, qui se référeront, dans les cas où il en existe, aux accords intervenus entre les Syndicats patronaux et ouvriers de la profession et de la région.

» Des voies de recours ont été prévues, comme l'exige l'équité, pour donner le maximum de garanties aux intéressés. En vue de faire l'économie d'une juridiction nouvelle, l'auteur de la proposition, M. Luquet, a proposé d'utiliser, pour le jugement des protestations qui pourraient s'élever contre les arrêtés préfectoraux, la Commission centrale instituée au Ministère du Travail pour les protestations contre les décisions des conseils du travail ou des comités de salaires pour l'établissement des salaires minima des ouvrières à domicile dans l'industrie du vêtement. »

V. — Après avoir indiqué la composition de cette Commission centrale et les travaux qu'elle a déjà effectués, M. Strauss poursuit :

« Tel est le système qui a obtenu les suffrages de la Commission mixte du travail et auquel le Ministre du Travail et de la Prévoyance sociale donne son assentiment complet.

» Il nous a paru, dès lors, que, dans les conditions nouvelles résultant des mœurs et créées par la loi, rien n'était plus simple que d'appliquer à toutes les conventions collectives du travail les dispositions de la loi sur le repos du samedi après-midi, afin de pouvoir étendre à toute la profession les bienfaits d'un arrangement stable et pacificateur.

» Ce qui domine, en effet, c'est la nécessité d'établir l'égalité de traitement entre tous les concurrents d'une même profession pour que les plus généreux et les plus disciplinés ne portent pas la peine de leur fidélité syndicale et de leur loyalisme corporatif.

» L'Association nationale française pour la Protection légale des travailleurs a jadis émis un avis dont deux des dispositifs restent d'une actualité saisissante : 1° Que les conventions collectives sont, dans la majorité des cas, seules propres à garantir la plus grande égalité possible entre les deux parties contractantes, et, par suite, à donner socialement et dans la réalité, au contrat de travail, le caractère bilatéral qui lui reste reconnu juridiquement; 2° qu'elles peuvent contribuer à diminuer la concurrence entre employeurs et à limiter sa répercussion sur les conditions du travail, au moins dans l'intérieur de chaque profession, par localité ou par région.

» M. Fagnot avait, dans son rapport, exposé les motifs de ce second dispositif : « La concurrence, a-t-il écrit, doit « porter sur la capacité de la direction et sur les éléments « techniques de l'industrie ou du commerce : organisation « habile et méthodique de l'établissement, diligence à « trouver les débouchés et à servir les clients, suppression « des pertes de temps et de « coulage », économie des « matières premières, perfectionnement de l'outillage, « diminution des frais généraux, abaissement du prix de « vente, loyauté dans les transactions, etc. » La concurrence ne peut plus se faire au détriment du travailleur.

» Tel a été l'esprit dans lequel, en pleine guerre, sous la pression des nécessités économiques, se sont rapprochés, en vue d'accords précis, tant pour la détermination du repos que pour la fixation des salaires, les employeurs et les travailleurs des deux sexes.

» Parmi les leçons tragiques de la guerre, si nombreuses et si impressionnantes, celle de l'amélioration progressive et méthodique des rapports entre le patronat et le salariat n'est pas une des moins frappantes.

» Partout où se sont rencontrés les représentants du capital et du travail, dans les Commissions mixtes pour le maintien du travail national, dans les comités de salaires, dans les offices paritaires de placement, au conseil supérieur du travail, à la Commission centrale de placement, au Comité du travail féminin, ailleurs encore, un esprit d'entente efficace s'est manifesté avec une cordialité pleine d'espérance.

» Ce désir de conciliation et de concorde s'est une fois de plus révélé à la Commission mixte du Travail de la Seine, où les représentants autorisés du patronat et des travailleurs, après avoir confronté leurs points de vue, ont fini par s'entendre sur une extension aux conventions collectives de travail de la procédure suivie pour le repos du samedi après-midi dans les industries du vêtement. La préoccupation dominante des intéressés est de réaliser pour l'ensemble d'une profession, par localité, par région, ces accords préventifs grâce auxquels peuvent être évités les conflits redoutables du capital et du travail.

» D'ores et déjà, sans légiférer actuellement, comme la Chambre l'avait fait, sur la jurisprudence, et pour entrer dans le vif des nécessités économiques les plus pressantes, nous proposons d'adopter la proposition empruntée à la Commission mixte du Travail de la Seine et tirée de l'expérience la plus récente et la plus favorable à l'ordre public et à la paix sociale. »

VI. — Voici ce projet de loi :

« *Article unique.* — La convention collective intervenue entre syndicats patronaux et ouvriers qualifiés pour représenter les intérêts généraux d'une profession dans une

Digitized by Google

région déterminée peut, à la demande des Syndicats contractants, être étendue par arrêté préfectoral, et, dans la mesure où les dispositions de ladite convention ne sont pas contraires aux lois, à tous les employeurs et salariés de la profession et de la région.

» Les arrêtés pris en vertu de l'alinéa précédent sont déposés aux secrétariats des conseils de prud'hommes et, à leur défaut, aux greffes des justices de paix du ressort de leur application et publiés par les soins du préfet dans les conditions déterminées par un règlement d'administration publique.

» Lesdits arrêtés sont exécutoires le neuvième jour de leur publication si, dans la huitaine qui suit la publication, ils n'ont pas fait l'objet d'une protestation motivée de la part des intéressés et adressée au préfet.

» La ou les protestations sont communiquées aux Syndicats contractants et sont portées devant la Commission centrale instituée par l'article 334 du livre premier du code du travail et de la prévoyance sociale.

» Cette Commission statuera sur les protestations, dans la quinzaine à dater du jour où elle sera saisie par les soins du ministre du Travail et de la prévoyance sociale.

» Pour statuer sur ces protestations, la Commission centrale est composée comme il est dit à l'article 334 du livre premier du code du travail et de la prévoyance sociale à l'exception des membres du conseil du travail ou du Comité départemental de salaire que remplaceront, mais à titre consultatif seulement, un délégué de chacun des Syndicats contractants et le préfet qui a pris l'arrêté y relatif ou son représentant. »

L'action économique en Suisse.

Dans le « Sémaphore de Marseille » du 20 décembre, M. Jean Valran, qui est particulièrement bien renseigné sur l'histoire économique de la Suisse, a fait paraître sous le titre ci-dessus un article où il souligne l'importance que ne peut manquer d'avoir pour nos relations commerciales avec la Suisse la réalisation des artères Suisse-Océan et Marseille-Genève-Bâle.

Examinant tout d'abord les récentes statistiques du commerce suisse, il fait observer que si la valeur des importations et des exportations est notablement plus élevée en 1917 qu'avant la guerre, les échanges commerciaux ont cependant diminué en quantité, les augmentations constatées dans leur valeur monétaire provenant uniquement de l'accroissement des prix unitaires. Aussi la Suisse se dispose-t-elle à intensifier sa production et le mouvement « productionniste » est si général qu'il s'étend aux cantons où la vie industrielle n'avait pris jusqu'ici qu'un faible développement; c'est ainsi que dans le canton des Grisons, à Coire, s'est constituée une « union » pour l'exploitation de toutes les ressources hydro-électriques de la région : captage des chutes, transmission de l'énergie, adaptation des conditions de vente aux besoins de la fabrication locale et périphérique.

Mais pour produire, il faut à la Suisse des matières premières qu'elle ne peut guère se procurer qu'à l'étranger. De là la création d'organismes ayant pour but de se procurer ces matières et d'assurer des débouchés aux produits fabriqués : à Zurich s'est constituée dans ce but une Union financière pour faciliter les relations économiques avec les pays de l'Entente, au capital de 20 millions; à Londres fonctionne depuis juin une Commission suisse pour l'étude des relations commerciales et industrielles avec la Grande-Bretagne.

La France, voisine immédiate, ne peut évidemment se désintéresser de ce mouvement et cela pour deux raisons : d'abord, parce que les produits de l'industrie suisse feront concurrence aux produits de sa propre industrie et, à ce point de vue, l'industrie électrique française est particulièrement visée; ensuite, parce que la France peut tirer profit des importations en Suisse des matières premières si, par la création de lignes de transports bien organisées, elle s'arrange de manière que ces matières traversent son territoire.

Un autre article du même auteur publié dans le « Bulletin de la Chambre de Commerce française de Genève » du 20 janvier, montre sous un autre jour ce souci de la Suisse de s'assurer l'obtention des matières premières nécessaires à son développement industriel : d'après cet article, une école coloniale suisse vient d'être créée à Neuchâtel.

A vrai dire, cette création remonte déjà à quelque temps : pour occuper les loisirs des prisonniers français internés en Suisse, l'Université de Neuchâtel avait organisé, avec l'appui du gouvernement français, une école coloniale. L'armistice a dispersé ses élèves. Mais les Suisses ont pensé qu'ils avaient tout intérêt à former des jeunes gens aptes à aller dans les colonies étrangères chercher les matières premières et les denrées alimentaires qui leur manquent, et l'école n'a pas fermé ses portes; elle est devenue l'Ecole coloniale suisse.

La situation économique en Allemagne.

Dans « L'Economiste Français » des 4 janvier et 1er février, M. A. Raffalovich consacre à cette question un article très documenté où il montre que les leaders socialistes allemands reconnaissent eux-mêmes que l'application des théories socialistes, et en particulier la nationalisation des moyens de production, sont incompatibles avec le développement de l'industrie et du commerce. En terminant cette étude il fait ressortir les conséquences auxquelles ont déjà donné lieu les tentatives d'application de ces théories; voici ce qu'il dit à ce sujet :

« Les effets de l'accroissement des salaires et la réduction des heures de travail ont produit les résultats attendus : les industriels allemands se plaignent de ne pouvoir lutter contre la concurrence anglaise sur le marché hollandais. Le dernier bilan de la Reichsbank, paru avant la fin de 1918, portait la date du 14 décembre. Si l'on consulte les cours de la Bourse de Berlin, on peut voir l'intensité de la panique qui a remplacé la belle confiance d'autrefois :

	31 déc. 1913.	31 déc. 1917.	20 déc. 1918.
Norddeutsch, Lloyd	117	137	84
A. E. G.	234	232	179
Bochum	209	320	200
Gelsenkirchen	183	216	154
Harpen	173	214	172
Phœnix	234	268	204
Schuckert	150	160	130
Baden Anilin	553	616	377
Deutsche Bank	250	244	207
Daimler	317	462	176

« Depuis lors la baisse s'est encore accentuée, notamment pour les entreprises de matières colorantes, de métallurgie. Les préoccupations qu'occasionne la hausse persistante des salaires, du combustible, avec la rareté des matières premières, le coût grandissant et la diminution de la production, se reflètent dans le cours de la Bourse »

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF :
Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 11. — 15 MARS 1919.

Chronique. — L'enseignement de la télégraphie sans fil à l'Ecole supérieure d'Electricité. — Société française des Electriciens, p. 401-402.

Section scientifique et technique. — Etude de la résistance effective, de l'impédance de la self-induction et des pertes de puissance dans un câble armé monophasé, par R. BOUZON, p. 403. — Etude sur la marche en parallèle des alternateurs, par M. DE MARCHENA, p. 405. — Revues, analyses et informations : Oscillations électriques non amorties de courte longueur d'onde, p. 415 ; Le synchronisme dans l'appareil multiple employé par l'armée américaine, p. 416.

Section industrielle. — Contribution à la détermination du régime hydraulique du Cher, par L. MORIN, p. 417. — Remarques sur l'établissement et l'exploitation des installations de condenseurs, par C. OETTINGER, p. 419. — Revues, analyses et informations : L'électrification partielle d'un grand réseau de chemins de fer, p. 422 ; La période de transition dans les industries électrochimiques et électrométallurgiques, p. 427. — Notes pratiques : Un anémomètre électrique facile à construire, p. 428.

Section économique et financière. — Revues, analyses et informations : L'organisation administrative du travail aux Etats-Unis pendant la guerre, p. 429.

Section de législation. — Législation, jurisprudence, réglementation : Loi relative à la corruption des fonctionnaires publics et des employés des entreprises privées, p. 431 ; Décret déterminant les attributions et le fonctionnement de l'Office du Travail, p. 431 ; Le nouveau régime pour l'obtention soit en France, soit à l'étranger de marchandises désignées, p. 431.

L'enseignement de la télégraphie sans fil à l'Ecole supérieure d'Électricité : L'Ecole supérieure d'Electricité qui, en 1914, avait institué une section de télégraphie sans fil, rouvrira cette section le 17 mars 1919, avec le concours de l'Université de Paris et de la Télégraphie militaire.

Cette session est spécialement destinée aux officiers américains actuellement présents à Paris et aux officiers français délégués par les ministres de la Guerre, de la Marine et des Colonies.

L'enseignement comprendra :

1° Un cours théorique et expérimental de 20 à 25 leçons sur la télégraphie sans fil professé à la Sorbonne par M. A. Abraham, professeur à l'Université de Paris. Ce cours sera public et commencera le vendredi 21 mars à 14 h 1/2.

2° Un enseignement de révision (cours et travaux pratiques) sur l'électrotechnique générale, les mesures et les moteurs thermiques, sera donné à l'Ecole supérieure d'Electricité. Cet enseignement d'une durée de trois semaines commencera le lundi 27 mars à 14 h 1/2.

3° Une série de soixante conférences environ sur la technique de la télégraphie sans fil et sur des sujets spéciaux se rapportant à la télégraphie sans fil. Cet enseignement sera placé sous la haute direction de M. le colonel Ferrié et confié à environ 15 à 20 spécialistes particulièrement désignés par leurs travaux antérieurs.

Ces conférences auront lieu les mardis, mercredis, jeudis et samedis dans l'après-midi à l'Ecole supérieure d'Electricité à une date qui sera indiquée ultérieurement.

4° Des travaux pratiques de télégraphie sans fil sous la haute direction de M. le colonel Ferrié. Ces travaux pratiques auront lieu aux Invalides.

Des auditeurs libres peuvent s'inscrire pour suivre la série des conférences spéciales de télégraphie sans fil moyennant le versement d'une somme de 300 fr.

Aucune inscription ne peut être acceptée pour les travaux pratiques.

Il est à prévoir qu'en présence des demandes qui arrivent une autre session pourra s'ouvrir l'automne prochain.

Société française des Electriciens : Séances du 5 février 1919 et du 5 mars 1919. — La séance du 5 février 1919 a été consacrée à l'audition de trois communications. La première de M. P. Ehrmann : « Remarques sur le fonctionnement des machines polyphasées à collecteur », la seconde de M. Ch. Féry : « Recherches sur le fonctionnement chimique de l'accumulateur au plomb », la troisième de M. Marius Latour : « Les alternateurs à haute fréquence ». Nous n'insisterons pas autrement sur ces intéressantes communications, car nous les publierons prochainement soit comme articles, soit comme analyses.

Digitized by Google

Pendant la séance du 5 mars 1919 deux communications devaient être présentées, l'une de M. Mauduit ayant pour titre « Expérience actuellement acquise dans l'électrification des grandes lignes de chemins de fer », l'autre de M. J. Bethenod : « Sur les machines électriques à haute fréquence et leur réglage ». Le manque de temps a empêché M. J. Bethenod de faire sa communication qui sera reportée à la prochaine séance de la Société.

M. Mauduit a d'abord exposé l'intérêt que présente l'électrification partielle des voies ferrées d'intérêt général françaises. Elle est nécessitée par le déficit de charbon qui était, pour la France, de 20 000 000 tonnes par an avant la guerre ; les chemins de fer consommant 7 millions de tonnes annuellement avant la guerre et devant probablement en consommer 14 millions dans 20 ans, il y a un intérêt primordial à réduire cette consommation par l'électrification. Celle-ci, d'autre part, permettra d'utiliser complètement l'énergie hydraulique très abondante dont dispose le sol français, et que les applications industrielles n'utiliseraient pas complètement.

Le gouvernement s'est intéressé vivement à la question et a créé un Comité pour l'électrification des chemins de fer français. Ce Comité a été subdivisé en deux sous-commissions : une sous-commission administrative chargée d'étudier la question de la production de l'énergie et la partie financière du projet ; et une sous-commission technique chargée de déterminer le système de traction à adopter sur les chemins de fer français. M. Mauduit a examiné rapidement les travaux de ces deux sous-commissions.

Il résulte des travaux de la sous-commission administrative que l'électrification est très avantageuse sur les lignes à fortes déclivités et à gros trafic ; elle présente sur ces lignes une économie importante par rapport à la traction à vapeur et permet d'utiliser les lignes avec leur maximum de capacité. Un avantage secondaire de l'électrification qui n'est pas négligeable dans la banlieue des grandes villes et dans les longs tunnels est la suppression des fumées. Les lignes à déclivités moyennes présenteraient également un certain intérêt à être électrifiées, mais surtout eu égard à leur capacité de transport. Pour les lignes plates l'électrification est très désavantageuse ; le service de ces lignes est d'ailleurs fort bien assuré par les locomotives à vapeur modernes qui sont des machines très perfectionnées et répondant particulièrement bien aux conditions d'exploitation en terrain relativement plat.

La Compagnie des Chemins de fer du Midi a prévu l'électrification de la totalité de ses lignes sauf celle de Bordeaux à Cette et de quelques lignes plates des Landes. Le P.-O. a projeté l'électrification de toutes ses lignes du Massif Central et le P.-L.-M. envisage l'électrification des lignes des Cévennes, de la ligne de Modane, de celles de Marseille à Montbéliard, de Lyon à Gannat et de Lyon à Marseille et Vintimille. L'ensemble des lignes dont l'électrification est prévue par ces trois compagnies représente plus de 8 000 km. L'économie de charbon en résultant serait annuellement de 1 500 000 tonnes en se basant sur le trafic de 1913 et dans 20 ans de 3 000 000 de tonnes, soit environ 2 milliards de kw-h par an. Le Midi a déjà commencé la construction des usines destinées à alimenter son réseau électrifié ; certaines même sont en fonctionnement. Le P.-O. et le P.-L.-M. étudient également la question de la production de l'énergie électrique.

Le rôle de la sous-commission technique est, comme nous l'avons dit, de déterminer le meilleur système de traction électrique à adopter et qui doit être le même pour tous les chemins de fer français.

M. Mauduit, qui est chargé de la rédaction du rapport de la sous-commission, a exposé sommairement les avantages et inconvénients des différents systèmes actuellement existants et donné les descriptions d'un certain nombre de locomotives en service, en les accompagnant de projections.

Le triphasé a été employé par les Chemins de fer de l'Etat italien qui l'ont appliqué d'une façon remarquable ; malgré la robustesse des moteurs triphasé ce système présente de graves inconvénients ; l'équipement de la ligne est cher et compliqué, le nombre de vitesse est limité, les locomotives sont à vitesse constante et non à puissance constante ce qui fait que ce mode de traction manque de souplesse. Il a l'avantage de permettre la récupération automatique. Le monophasé peut s'employer soit sous la forme de monophasé direct, soit en mono-triphasé, soit en redressant le courant sur la locomotive et utilisant des moteurs à courant continu.

Le monophasé direct est, au point de vue technique, tout à fait au point, les moteurs série compensés système Latour qui sont les plus employés ont un fonctionnement excellent. Il permet le réglage de la vitesse sans pertes, malheureusement il ne se prête pas bien ni au freinage électrique ni à la récupération. Nous ajouterons cependant que le système de récupération de M. Behn-Eschenburg (*R. G. E.* du 7 décembre 1918, t. IV, p. 877), et celui tout récent de M. Marius Latour (*R. G. E.*, 8 mars 1919, t. V, p. 363), ce dernier permettant la récupération à toutes vitesses et avec un facteur de puissance très élevé modifient complètement les conclusions précédentes et constituent un atout considérable en faveur du monophasé direct.

Le mono-triphasé a été employé sur le Norfold and Western Railway et sur le Pennsylvania Railway. Il semble ne convenir que pour la traction des trains lourds de marchandises à faible vitesse.

Le monophasé redressé, système Auvert-Ferraud, a donné de bons résultats aux essais, mais comme il n'a pas été employé en service courant, on ne peut se prononcer à son égard.

Reste le continu haute tension, c'est-à-dire à 3 000 volts environ. Ce système est employé sur une ligne de plus de 700 km du Chicago-Milvaukee and Saint Paul Railway ; il ne nécessite pas un nombre de sous-stations exagéré ; il permet une gamme de vitesses assez considérable, le freinage et même la récupération presque jusqu'à l'arrêt, ce que le triphasé ne permet pas de réaliser. La sous-commission technique va se rendre en Amérique pour étudier sur place le système de traction par courant continu haute tension.

M. Mauduit n'a pas voulu donner de conclusion pour l'instant aux études de la sous-commission, il attend que la sous-commission ait examiné sur place tous les systèmes de traction possibles. On peut seulement affirmer dès maintenant que la complication de l'équipement des lignes triphasées fera rejeter ce système ; il reste donc en présence le monophasé et le continu haute tension, lequel l'emportera sur l'autre, ces deux systèmes étant également bien au point au point de vue technique, il est probable que c'est celui qui semblera présenter les avantages économiques les plus grands. — H. C.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Étude de la résistance effective, de l'impédance de la self-induction et des pertes de puissance dans un câble armé monophasé

Dans la présente note l'auteur montre que la résistance effective, l'impédance et la self-induction varient en fonction de l'intensité, dans un câble monophasé, armé de feuillard d'acier. Ces variations étant dues à l'aimantation de l'acier, elles cessent lorsque sa saturation est atteinte. Cette particularité est mise à profit pour séparer les pertes par hystérésis des pertes par courants de Foucault et effet Kelvin.

Les essais ont été effectués sur un câble armé basse tension de 250 m de longueur, à trois conducteurs de 50 mm² chacun, mis en court-circuit respectivement à chaque extrémité de manière à constituer un ensemble monophasé. Ce câble était déroulé sur le sol, les brins aller et retour placés jointifs, pour réduire la surface embrassée et partant la self-induction de la boucle au plus strict minimum. Les appareils étant montés comme l'indique la figure 1, on a mesuré :

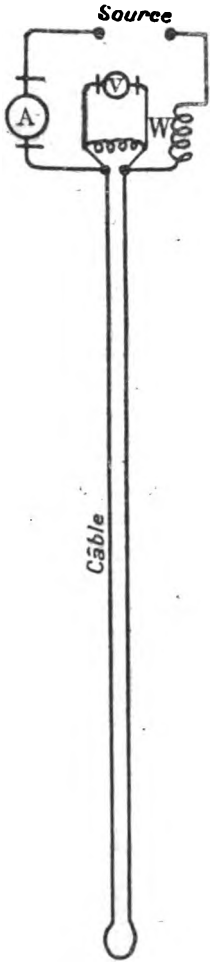


Fig. 1.

1° La tension et l'intensité en continu pour déduire la résistance ohmique.

2° La tension et la puissance au wattmètre en alternatif pour divers régimes d'intensité.

Soit R la résistance en continu, V', I' et P' la tension, l'intensité et la puissance à 50 p : sec.

La résistance effective en alternatif

$$R' = \frac{P'}{I'^2}.$$

L'impédance

$$z = \frac{U'}{I'}.$$

De

$$z^2 = R'^2 + \mathcal{L}^2\omega^2,$$

nous tirons la valeur de la self-induction

$$\mathcal{L} = \frac{\sqrt{z^2 - R'^2}}{\omega^2}.$$

Les courbes des figures 2 et 3 traduisent les résultats obtenus sur le câble considéré, elles tendent toutes vers une direction asymptotique horizontale.

La résistance effective est constituée par la résistance ohmique, plus l'augmentation de résistance due à l'effet pelliculaire ou effet Kelvin, plus la résistance opposée aux courants de Foucault dans le cuivre, le plomb et le feuillard, plus une valeur, également traduite en ohms, correspondant à la perte par hystérésis dans le feuillard.

Les pertes correspondantes à la résistance ohmique, à l'effet Kelvin et aux courants de Foucault, sont des pertes par effet Joule, c'est-à-dire proportionnelles au

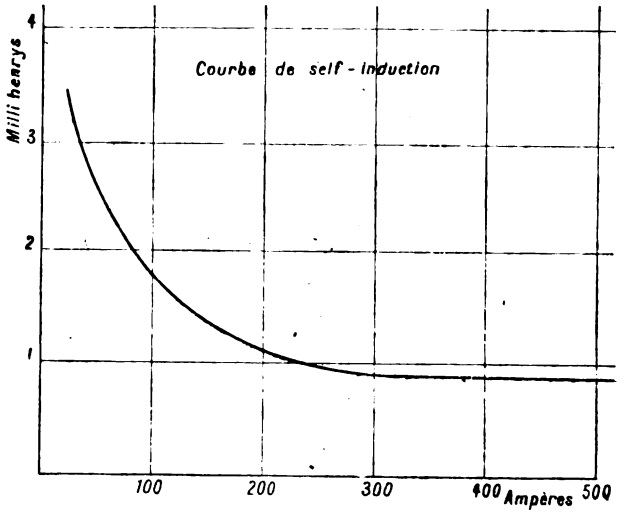


Fig. 2.

carré de l'intensité. Leur courbe est donc une parabole.

Les pertes par hystérésis croissent sensiblement d'abord comme la puissance 1,6 de l'induction dans le feuillard d'acier, c'est-à-dire de l'intensité du courant qui développe cette induction (coefficient de Steinmetz), puis tendent à devenir constantes lorsque est atteinte la saturation.

Ces pertes par hystérésis qui se trouvent être prépondérantes au début, mais qui dans le cas particulier n'augmentent pratiquement plus à partir de 258 A, tendent donc à devenir négligeables auprès des pertes

Digitized by Google

Joule, dont la courbe parabolique gagne rapidement une direction asymptotique verticale.

L'addition de ces pertes par hystérésis, importante aux faibles intensités, négligeable aux intensités très

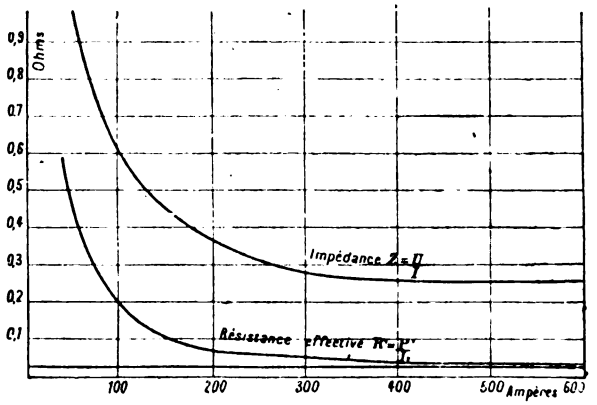


Fig. 3.

élevées, déforme donc au début seulement la parabole des pertes Joule,

La résistance effective, qui est le quotient par I^2 de la somme totale des pertes de puissance sus-mentionnées, les unes croissant indéfiniment comme I^2, les autres ayant un accroissement subordonné au début à la puissance 1,6 de I mais qui cesse lorsqu'on est arrivé à la saturation, tend donc vers un minimum qui est effectivement atteint lorsque la puissance dissipée par hystérésis est négligeable devant la puissance dissipée par effet Joule.

Donc le minimum atteint, l'augmentation de la résistance effective attribuée au phénomène d'hystérésis est nulle et l'ordonnée de la direction asymptotique de cette courbe de résistance effective représente alors la seule somme des résistances donnant naissance aux pertes Joule (résistance ohmique en continu + accroissement de cette résistance dû à l'effet Kelvin + résistance ohmique opposée aux courants de Foucault). En sorte qu'il devient possible de dégager, graphiquement par exemple, la puissance dissipée par courants de Foucault et effet Kelvin.

C'est ce qui a été réalisé à l'aide des courbes de la figure 4 de la manière suivante :

La courbe de la puissance totale dissipée dans le câble a été tracée d'après les lectures faites à l'essai au wattmètre.

La courbe parabolique de la somme des pertes de puissance par effet Joule a été construite, comme démontré ci-dessus, au moyen du produit de l'ordonnée de la direction asymptotique de la courbe de résistance effective R' par I^2.

La courbe parabolique de la puissance dissipée par résistance ohmique en continu a été construite au moyen des valeurs RI^2.

La courbe parabolique de la puissance dissipée par courants de Foucault et effet Kelvin a été tracée au moyen de la différence des ordonnées des deux courbes paraboliques précédentes.

Enfin la courbe de la puissance dissipée par hystéré-

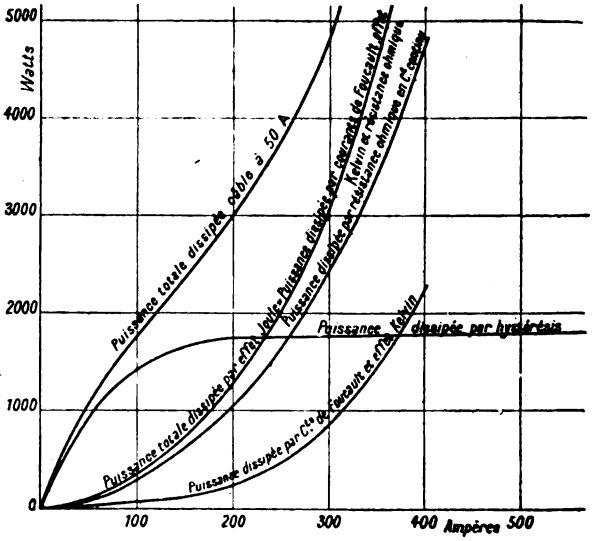


Fig. 4.

sis, a été tracée en retranchant les ordonnées de la courbe parabolique de puissance dissipée par courants de Foucault, effet Kelvin et résistance ohmique, des ordonnées de la courbe de puissance totale dissipée dans le câble.

Les chiffres au moyen desquels ont été construites toutes ces courbes s'appliquent à la longueur de 250 m du câble essayé.

On peut voir qu'à la fréquence 50 p : sec la résistance effective vaut environ 17 fois la résistance ohmique en continu à 50 A, 7 fois à 100 A, 3 fois à 200 A, 2 fois à 300 A et 1,2 fois à 500 A et au-dessus.

R. Bouzon.

Digitized by Google

Étude sur la marche en parallèle des alternateurs

Nous publions ci-dessous une communication faite par M. de Marchena, le 9 janvier 1919, à la Société Française des Électriciens et publiée dans le Bulletin de janvier 1919 de cette Société, p. 17. M. de Marchena donne une nouvelle expression du couple synchronisant, étudie l'influence de l'amortissement sur les conditions de résonance et calcule la période de deux groupes de puissance finie marchant en parallèle. Il termine par un certain nombre de conclusions et d'applications pratiques.

Le présent travail n'a pas pour but d'ajouter quelque chose à la théorie de la marche en parallèle des alternateurs.

Cette question a fait depuis longtemps, de la part de plusieurs savants (parmi lesquels il suffit de rappeler les noms de M. Cornu, de M. Blondel et de M. Boucherot), l'objet de travaux devenus classiques d'un caractère trop complet et définitif pour qu'il puisse leur être ajouté quelque chose.

Son but est seulement d'examiner de plus près les conditions dans lesquelles doit se faire l'application des théories déjà bien connues pour éviter des erreurs, souvent difficiles à réparer.

L'idée m'en a été inspirée par les difficultés rencontrées dans la marche en parallèle de divers groupes électrogènes à combustion interne installés dans l'usine de La Rochelle, à la suite desquelles cette question a fait l'objet de ma part d'une étude approfondie (1).

Comme on le sait, les alternateurs couplés en parallèle sont maintenus au synchronisme par les actions électromagnétiques qui s'exercent entre eux dès qu'ils sont écartés de leur position d'équilibre ; celles-ci donnent lieu en les y rappelant à des oscillations dont la périodicité dépend à la fois des caractéristiques électriques des alternateurs et de l'inertie des masses mobiles.

Quand les irrégularités du couple mécanique qui donnent naissance à ces oscillations, au lieu d'être isolées, se succèdent à des intervalles réguliers dont la périodicité se rapproche de celle des oscillations, les mouvements pendulaires vont en s'accentuant et, quand il y a résonance entre les deux périodicités, ils peuvent prendre une amplitude telle que la marche en parallèle devienne impossible.

C'est cette coïncidence qu'il s'agit d'éviter dans toutes les conditions de marche.

Comme le couple mécanique peut présenter des harmoniques de périodicités très variables et formant une échelle étendue à partir de la plus basse, le moyen le plus sûr, pour éviter la possibilité de résonance, consiste à établir les groupes électrogènes à coupler de telle sorte que la fréquence de leurs oscillations propres soit inférieure à celle de toutes les irrégularités du couple mécanique ayant un caractère périodique.

(1) Pour cette étude, des renseignements très utiles m ont été fournis par : M. Roth, ingénieur de la Société alsacienne, et M. Rodier, directeur de la Compagnie du Gaz de la Rochelle.

Ceci exige, naturellement, de se rendre un compte exact :

1° De la périodicité véritable des oscillations propres des groupes électrogènes considérés ;

2° De la valeur la plus basse que puisse prendre la périodicité des perturbations à envisager du couple mécanique.

Dans ce qui va suivre, nous allons d'abord, pour plus de simplicité, examiner le cas d'un alternateur couplé à un réseau de puissance infinie par rapport à sa puissance propre et de fréquence parfaitement constante. Nous examinerons ensuite comment les résultats se modifient quand il s'agit du couplage de groupes de puissance comparable.

Nous désignerons par :

U la différence de potentiel aux bornes de l'alternateur ;

E_1 la force électromotrice induite ;

I_1 le courant débité :

φ le décalage de ce courant par rapport à U ;

γ l'angle de décalage entre E_1 et U ;

e_1 la résultante de E_1 et de U ;

Z_1 la réactance du stator dont nous supposerons la résistance comparativement négligeable ;

$2p$ le nombre de pôles ;

Ω la vitesse angulaire de rotation ;

W la puissance correspondant à l'angle γ ;

C_γ le couple correspondant à W_γ ;

C_0 le couple de pleine charge ;

I_0 le courant de pleine charge ;

C_s le couple synchronisant.

Calcul du couple synchronisant. — La puissance utile développée par l'alternateur est donnée par l'expression

$$W_\gamma = UI_1 \cos\varphi = \frac{Ue_1}{Z_1}\cos\varphi. \qquad (1)$$

Si nous traçons le diagramme de fonctionnement de l'alternateur (voir fig. 1), nous voyons que

$$e_1 \cos\varphi = E_1 \sin\gamma.$$

Par suite

$$W_\gamma = \frac{UE_1}{Z_1}\sin\gamma,$$

$$C_\gamma = \frac{UE_1}{\Omega Z_1}\sin\gamma. \qquad (1')$$

Digitized by Google

D'autre part, le couple de pleine charge C_0 a pour expression

$$C_0 = \frac{UI_0}{\Omega}.$$

En divisant membre à membre, il viendra

$$C_1 = C_0 \frac{E_1}{Z_1 I_0} \sin \gamma. \qquad (2)$$

Si nous supposons l'alternateur écarté d'un angle δ_γ de sa position d'équilibre par une impulsion passagère, le

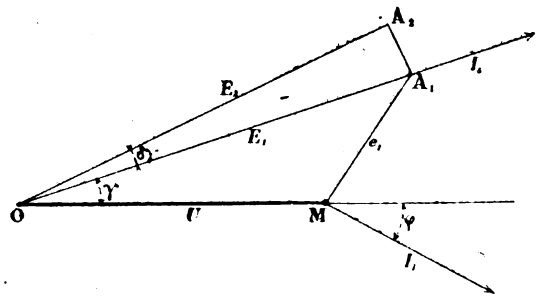


Fig. 1.

couple C_γ éprouvera une augmentation qui représentera le couple synchronisant C_s, dont nous avons à déterminer la valeur.

Pour une réactance Z_1 indépendante de $\varphi + \gamma$, le couple C_s pourrait, pour de petites valeurs de δ_γ, s'obtenir par la simple différentiation de l'équation (2).

On aurait alors

$$C_s = C_0 \frac{E_1}{Z_1 I_0} \cos \gamma \, \delta_\gamma.$$

Mais Z_1 varie avec γ de telle sorte que c'est en réalité la différentielle de $\frac{\sin \gamma}{Z_1}$ qu'il s'agit de déterminer.

Si nous représentons (voir fig. 1) par OA_2 le vecteur représentant en grandeur et en phase la force électromotrice E_2 de l'alternateur, quand celui-ci a été déplacé de l'angle δ_γ, nous voyons que le courant synchronisant peut être considéré comme produit par la différence de potentiel $A_1 A_2$ résultant de e_1 et de e_2.

Pour de petites valeurs de δ_γ, ce courant synchronisant est en phase avec E_1 et sa valeur est donnée par l'expression

$$I_s = \frac{E_1}{Z_0} \delta_\gamma,$$

Z_0 étant la réactance de l'alternateur pour l'angle $\varphi + \gamma = 0$, c'est-à-dire pour un courant en phase avec E_1.

Le couple correspondant a pour valeur

$$C_s = C_0 \frac{E_1 \cos \gamma}{Z_1 I_0} \delta_\gamma.$$

Et, en désignant par θ l'angle matériel correspondant à l'angle électrique $\delta_\gamma = p\theta$,

$$C_s = \frac{E_1 \cos \gamma}{Z_0 I_0} p C_0 \theta. \qquad (3)$$

Il est à remarquer que dans cette expression $\frac{E_1}{Z_0 I_0}$ ne représente pas du tout, comme on l'a souvent écrit avec une exactitude insuffisante, le rapport du courant de court-circuit au courant de pleine charge (comme ce serait le cas si la réactance Z_0 pouvait être confondue avec la réaction d'induit de l'alternateur telle qu'on la déduit de la caractéristique en court-circuit).

Surtout pour les alternateurs à pôles saillants, la réactance du stator pour les courants correspondant à $\varphi + \gamma = 0$, réactance désignée par M. Blondel sous le nom de *réactance transversale*, est très différente de la réaction d'induit et ne dépend pas des mêmes facteurs.

Cette réactance est celle qui correspond à l'importance des divers flux de fuite du stator, c'est-à-dire au flux produit par le courant statorique qui n'intéresse pas la magnétisation du circuit inducteur.

Comme on le sait, ce flux comprend :

Les fuites autour de chaque encoche du stator;

Les flux de fuites autour des développements extérieurs des bobines du stator;

Les flux de fuites autour de l'ensemble de chaque bobine et se fermant par les pièces polaires et les intervalles d'air entre ces pièces.

La réactance ainsi définie est toujours notablement inférieure à la réaction d'induit en court-circuit. Elle peut être faible dans des machines ayant cependant un courant de court-circuit peu important, par exemple dans des alternateurs à faible entrefer mais à forte saturation de certaines parties du circuit magnétique.

Par suite, l'erreur commise en remplaçant le rapport $\frac{E_1}{Z_0 I_0}$ par le rapport $\frac{I_{cc}}{I_0}$ du courant de court-circuit au courant de pleine charge peut être importante et amener des surprises fâcheuses.

Ceci dit, cherchons à déterminer la valeur du rapport $\frac{E_1 \cos \gamma}{Z_0 I_0}$ figurant dans l'expression du couple synchronisant.

D'après la figure 1, on peut écrire (en négligeant la résistance du stator devant sa réactance)

$$E_1 \cos \gamma = U + Z_1 I_1 \sin \varphi. \qquad (4)$$

Par suite

$$\frac{E_1 \cos \gamma}{Z_0 I_0} = \frac{U}{Z_0 I_0} + \frac{Z_1}{Z_0} \frac{I_1 \sin \varphi}{I_0}.$$

$\frac{Z_0 I_0}{U}$ n'est autre chose que la proportion de réactance de

Digitized by Google

l'alternateur pour la tension U, proportion que nous désignerons par λ; $\frac{I_1 \sin \varphi}{I_0}$ est la proportion de courant dévatté au courant de pleine charge au régime considéré de l'alternateur.

Nous désignerons cette proportion par i'.

$\frac{Z_1}{Z_0}$ est le rapport de la réactance de l'alternateur, pour la phase du courant correspondant au régime défini par l'angle $\varphi + \gamma$, à la valeur de cette réactance correspondant à $\varphi + \gamma = 0$.

Nous désignerons ce rapport par la lettre μ.

Nous aurons alors

$$\frac{E_1 \cos \gamma}{Z_0 I_0} = \frac{1}{\lambda} + \mu i'.$$

Remarquons que, si l'on désire tenir compte de la résistance du stator, il suffit de remplacer dans l'équation (4) U par $U + RI \cos \varphi$.

Si nous désignons par r la proportion de résistance du stator $= \frac{RI_0}{U}$ et par i le rapport $\frac{I_1 \cos \varphi}{I_0}$ du courant watté au courant de pleine charge, l'expression $\frac{E_1 \cos \gamma}{Z_0 I_0}$ deviendra alors

$$\frac{E_1 \cos \gamma}{Z_0 I_0} = \frac{1 + ri}{\lambda} + \mu i' \text{ (1)}.$$

Dans cette expression, le terme $\frac{1}{\lambda}$ qui a une valeur prépondérante est indépendant des conditions de charge pour une même tension aux bornes. Mais il diminue avec cette tension.

Le terme $\frac{ri}{\lambda}$ est peu important, de telle sorte que l'expression $\frac{E_1 \cos \gamma}{Z_0 I_0}$ change donc peu avec la valeur de la charge.

Quant au terme $\mu i'$, il varie avec les conditions du fonctionnement, à la fois parce que la réactance Z_1, et par suite le coefficient μ, change avec l'angle $\varphi + \gamma$, et parce que le terme i' dépend essentiellement du facteur de puissance.

Nous aurons pour ce terme variable deux limites en remarquant que le coefficient μ est supérieur à l'unité, mais est inférieur à la valeur qui serait obtenue en remplaçant la réactance Z_1 par la réaction d'induit en court-circuit.

On obtiendra ainsi pour le facteur $\frac{E_1 \cos \gamma}{Z_0 I_0}$ deux valeurs assez rapprochées pour les besoins du calcul.

(1) Quand le groupe en question, au lieu d'être directement branché sur le réseau, lui est relié par une ligne possédant une certaine impédance, les coefficients μ et r doivent comprendre la proportion de résistance et de réactance de cette ligne.

Nous désignerons, dans ce qui va suivre, ce facteur par la lettre K.

L'équation (4) pourra alors s'écrire

$$C_s = Kp C_0 \theta. \tag{4'}$$

Oscillations libres de l'alternateur couplé. — Ces oscillations sont définies par l'équation différentielle

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + Kp C_0 \theta = 0,$$

dans laquelle J représente l'inertie des parties mobiles du groupe électrogène, et $Kp C_0 \theta$ le couple synchronisant.

Cette équation, bien connue, définit un mouvement oscillatoire de période

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{Kp C_0}}. \tag{5}$$

Cette expression peut se mettre sous une forme beaucoup plus favorable aux calculs et évitant mieux les chances d'erreur provenant d'un mauvais choix des unités.

Multiplions par Ω^2 les deux membres de la fraction sous le radical. Nous aurons

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J\Omega^2}{\Omega C_0 \times p\Omega \times K}}.$$

Or, ΩC_0 n'est autre chose que la puissance de pleine charge W_0; $\frac{J\Omega^2}{\Omega C_0}$ est donc la proportion, par unité de puissance du groupe, de force vive emmagasinée dans les parties mobiles de ce groupe

$$p\Omega = 2\pi f,$$

où f est la fréquence de l'alternateur.

En remplaçant dans l'expression de T nous aurons donc

$$T = \sqrt{\frac{2\pi}{K}} \sqrt{\frac{J\Omega^2}{W_0}} \frac{1}{f}. \tag{6}$$

Le terme $\sqrt{\frac{2\pi}{K}}$ est un simple rapport numérique.

Le terme $\frac{J\Omega^2}{W_0}$ est un temps T_0.

C'est le double du temps que mettrait l'application de la pleine charge pour amener le groupe électrogène à vide depuis la vitesse nulle jusqu'à sa vitesse de régime.

Ce temps est sensiblement une constante pour les machines de même type et il est sensiblement indépendant de leur puissance.

Pour les machines à pistons, il dépend principalement du coefficient d'irrégularité durant un tour admis pour ces machines.

Digitized by Google

Pour les turbines hydrauliques, il dépend, principalement, de la durée admise pour la fermeture de leurs vannages et de la variation de vitesse consentie en cas de variation brusque de la charge.

Dans tous les cas, c'est une caractéristique mécanique du groupe électrogène.

Quand au terme $\frac{1}{f}$, ce n'est autre chose que la durée t_0 d'une période des courants produits.

L'équation (6) peut donc s'écrire sous la forme

$$T = \sqrt{\frac{2\pi}{K}}\sqrt{T_0 t_0}. \tag{6'}$$

qui en montre la parfaite homogénéité.

Sous cette forme, on voit que la durée des oscillations libres (et nous avons vu qu'il y avait intérêt à augmenter le plus possible cette durée) est d'autant plus grande, toutes choses égales d'ailleurs :

1° Que la fréquence est plus basse ;

2° Que le coefficient est plus faible, c'est-à-dire la réactance de l'alternateur plus grande ;

3° Que la force vive par cheval de puissance est plus considérable.

On remarquera également que tous ces éléments entrent dans l'expression de T par leurs racines carrées, c'est-à-dire que, pour conserver à T sa même valeur, il faut :

1° A la même fréquence, donner au rapport $\frac{T_0}{K}$ une valeur constante ;

2° Augmenter la valeur de ce rapport $\frac{T_0}{K}$ au fur et à mesure que la fréquence de fonctionnement est plus considérable.

On remarquera enfin que le facteur K se modifie avec les conditions de fonctionnement de l'alternateur.

En général, avec les alternateurs modernes, la valeur de K à pleine charge avec $\cos\varphi = 0{,}70$ est d'environ 30 à 50 pour 100 plus grande qu'à vide.

Par suite, et il ne faut pas perdre de vue ce point, la périodicité des oscillations libres peut, dans certaines conditions de charge, s'écarter de 15 à 20 pour 100 de la valeur qui correspondrait au fonctionnement à vide.

Oscillations forcées. — La plupart des moteurs industriels (à l'exclusion des turbines à vapeur et des turbines hydrauliques) qui entrent dans la constitution des groupes électrogènes développent des couples périodiquement variables.

Ce couple peut être considéré comme comprenant :

1° Une partie constante correspondant au travail effectif ;

2° Une partie variable dont le travail durant un cycle entier est nul et pouvant se décomposer en harmoniques dont les périodicités sont des multiples supérieurs de la périodicité de ce cycle.

Il est donc de la forme générale

$$C = C_m + \Sigma C_n \sin n\Omega t.$$

Chacune des harmoniques donne lieu à des oscillations du groupe électrogène autour de sa position d'équilibre correspondant à l'action de la partie constante du couple.

Ces oscillations se combinent et peuvent interférer entre elles pour donner lieu à un mouvement très complexe. Mais il suffit, en pratique, de s'assurer qu'aucune d'entre elles ne pourra prendre une amplitude dangereuse et, par suite, d'étudier séparément leurs actions.

Désignons par

ω la vitesse angulaire correspondant à la périodicité d'une de ces harmoniques ;

C l'amplitude du couple correspondant.

Ce couple sera défini à chaque instant t par l'expression

$$C \sin \omega t,$$

D'autre part, si nous désignons par

$$\alpha = \Omega t + 0$$

la position angulaire du groupe électrogène au moment considéré, nous aurons, pour définir le mouvement de ce groupe supposé fonctionnant isolément, l'équation

$$J\frac{d^2\alpha}{dt^2} = C \sin \omega t,$$

et comme

$$\frac{d^2\omega}{dt^2} = \frac{d^2\theta}{dt^2},$$

$$J\frac{d^2\theta}{dt^2} = C \sin \omega t.$$

Cette équation définit un mouvement oscillatoire d'amplitude

$$\theta_0 = \frac{C}{J\omega^2}. \tag{7}$$

Si, au lieu de supposer le groupe électrogène isolé, nous supposons l'alternateur couplé à un réseau de puissance infinie, nous aurons (en négligeant l'amortissement), pour définir son mouvement, l'équation différentielle

$$J\frac{d^2\theta}{dt^2} + Kp\,C_0\theta = C \sin \omega t. \tag{8}$$

Elle définit, un mouvement oscillatoire dont l'amplitude a pour valeur

$$\theta_1 = \frac{C}{\sqrt{(J\omega^2 - Kp\,C_0)^2}}. \tag{9}$$

Digitized by Google

En divisant membre à membre les équations (7) et (9), il viendra

$$(10) \qquad \frac{\theta_1}{\theta_0} = \frac{J\omega^2}{\sqrt{(J\omega^2 - Kp C_0)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{Kp C_0}{J\omega^2}\right)^2}}.$$

Or, si nous désignons par $\omega_0 = \frac{T}{2\pi}$ la vitesse angulaire correspondant à la périodicité des oscillations libres de l'alternateur, nous avons vu [équation (5)] que

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{Kp C_0}{J}}.$$

En remplaçant dans l'équation (10) nous aurons donc

$$(11) \qquad \frac{\theta_1}{\theta_0} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2_0}{\omega^2}\right)^2}}.$$

L'amplitude des oscillations est donc modifiée par le couplage de l'alternateur.

Pour les valeurs de ω_0 inférieures à ω elle est toujours augmentée et d'autant plus que le rapport $\frac{\omega_0}{\omega}$ est plus voisin de l'unité. Ce cas est le cas général.

Pour $\omega = \omega_0$, c'est-à-dire s'il y avait résonance entre les deux périodicités, l'amplitude des oscillations augmenterait indéfiniment, abstraction faite de l'amortissement.

Dès que la valeur de ω_0 dépasse ω, le rapport $\frac{\theta_1}{\theta_0}$ s'abaisse rapidement et il tombe au-dessous de l'unité quand $\frac{\omega_0}{\omega}$ est supérieur à $\sqrt{2}$.

Ces résultats sont déjà connus et nous croyons inutile d'insister sur leur discussion.

Influence de l'amortissement. — Dans ce qui précède nous avons négligé l'amortissement.

Quand les conditions de fonctionnement voisinent la résonance, l'importance de l'amortissement devient très grande, car celui-ci intervient alors à peu près seul pour limiter l'amplitude des oscillations et rendre possible le fonctionnement en parallèle.

En supposant, ce qui n'est guère éloigné de la vérité avec les circuits amortisseurs rationnellement établis, que l'amortissement est proportionnel à la vitesse de déplacement relatif des parties mobiles par rapport au champ tournant produit par les courants statoriques, le couple d'amortissement pourra se définir par l'expression

$$A\left(\frac{d\alpha}{dt} - \Omega\right) = A\frac{d\theta}{dt}$$

et l'équation différentielle du mouvement devient

$$(12) \qquad J\frac{d^2\theta}{dt^2} + A\frac{d\theta}{dt} + Kp C_0\theta = C\sin\omega t.$$

L'amplitude de l'oscillation est alors

$$(13) \qquad \theta_1 = \frac{C}{\sqrt{(A\omega)^2 + (J\omega^2 - Kp C_0)^2}}$$

et à la résonance

$$(14) \qquad \theta_1 = \frac{C}{A\omega}.$$

Il est plus commode de définir le coefficient A par le rapport du couple d'amortissement au couple de pleine charge pour une valeur déterminée du glissement.

L'expression de A peut alors se mettre sous la forme

$$(15) \qquad Ag\frac{\Omega}{p} = C_0,$$

$g\frac{\Omega}{p}$ étant la vitesse de déplacement relatif qui donnerait lieu à un couple d'amortissement égal au couple de pleine charge.

En remplaçant dans l'expression (14), celle-ci devient

$$(14') \qquad \theta_1 = \frac{C}{C_0}\frac{g}{p}\frac{\Omega}{\omega_0}$$

et, par suite,

$$(16) \qquad \frac{\theta_1}{\theta_0} = Kg\frac{\Omega}{\omega_0}.$$

Quand les conditions de résonance ne sont pas entièrement remplies, l'expression (16) devient

$$(17) \qquad \frac{\theta_1}{\theta_0} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\omega}{\omega_0}\frac{\omega_0}{Kg\Omega}\right)^2 - \left(1 - \frac{\omega^2_0}{\omega^2}\right)^2}}.$$

De même, on a

$$(18) \qquad \theta_1 = \frac{1}{Kp}\frac{C}{C_0}\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\omega}{Kg\Omega}\right)^2 + \left(\frac{\omega^2}{\omega^2_0} - 1\right)^2}}.$$

Il est intéressant de faire ressortir l'importance relative des échanges de puissance qui se produisent entre un alternateur et le réseau auquel il est couplé, durant les diverses oscillations envisagées ci-dessus.

C'est l'importance de ces échanges qui limite, en effet, la possibilité de la marche en parallèle.

L'importance relative de la puissance échangée par rapport à la puissance de pleine charge peut se représenter par

$$\frac{\Delta W}{W_0}.$$

Digitized by Google

Or

$$W_0 = UI_0,$$

$$\Delta W_\gamma = \frac{UE_1 \cos\gamma}{Z_0}\,d\gamma.$$

Par suite

$$\frac{\Delta W_\gamma}{W_0} = \frac{E_1 \cos\gamma}{Z_0 I_0}\,d\gamma = Kp\theta_1.$$

D'où l'on tire

$$(19)\qquad \frac{\Delta W_\gamma}{W_0} = Kp\theta_1 = \frac{\frac{C}{C_0}}{\sqrt{\left(\frac{\omega}{Kg\Omega}\right)^2 + \left(\frac{\omega^2}{\omega_0^2} - 1\right)^2}}$$

et à la résonance

$$(19')\qquad Kp\theta_1 = \frac{C}{C_0}\,\frac{Kg\Omega}{\omega_0}.$$

Cas du couplage de deux groupes de puissance finie. — Dans tout ce qui précède, nous n'avons envisagé que le cas d'un groupe électrogène accouplé à un réseau de puissance infinie.

Examinons ce que deviennent les résultats trouvés dans les cas qui se rencontrent véritablement dans la pratique, c'est-à-dire quand il s'agit de la marche en parallèle de deux groupes électrogènes de puissance comparable.

Pour plus de simplicité, nous nous bornerons à envisager le cas de la marche à vide.

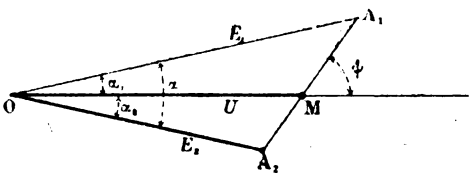


Fig. 2.

Dans la position d'équilibre, les forces électromotrices induites dans les deux alternateurs concorderont en phase.

Supposons ceux-ci écartés de cette position d'équilibre et désignons par α_1 et α_2 la valeur des angles que feront les vecteurs représentant leurs forces électromotrices induites avec le vecteur représentant la différence de potentiel à leurs bornes.

Si nous construisons le diagramme de ces différentes forces électromotrices, nous aurons celui représenté par la figure 2.

Dans ce diagramme :

OA_1 représente en grandeur et en phase la force électromotrice E_1 ;

OA_2 représente E_2 ;

U la différence de potentiel aux bornes ;

A_1A_2 la résultante de E_1 et E_2 ;

ψ le décalage de A_1A_2 par rapport à U.

Désignons par :

Z_1 et Z_2 les réactances des stators des deux alternateurs ;

p_1 et p_2 leurs nombres de paires de pôles ;

C_1 et C_2 les valeurs respectives de leurs couples de pleine charge ;

I_1 et I_2 les valeurs correspondantes des courants de pleine charge ;

$\mathfrak{J}_1$ et $\mathfrak{J}_2$ les inerties des parties mobiles.

En négligeant la résistance des stators vis-à-vis de leur réactance, le courant de circulation sera décalé de $\frac{\pi}{2} - \psi$ par rapport à U et sa composante en phase avec U, pour de petites valeurs de α_1 et α_2, aura pour valeur

$$U\,\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{Z_1 + Z_2}.$$

Le couple synchronisant agissant sur le premier groupe électrogène aura par suite pour expression

$$C_{s1} = C_1\,\frac{U}{I_1(Z_1 + Z_2)}\,(\alpha_1 + \alpha_2).$$

De même, le couple synchronisant agissant sur le second groupe électrogène aura pour expression

$$C_{s2} = C_2\,\frac{U}{I_2(Z_1 + Z_2)}\,(\alpha_1 + \alpha_2).$$

Les équations différentielles représentant les mouvements de chacun des deux groupes pourront s'écrire :

Pour le premier groupe,

$$\frac{\mathfrak{J}_1}{p_1}\,\frac{d^2\alpha_1}{dt^2} + \frac{C_1 U}{I_1(Z_1 + Z_2)}\,(\alpha_1 + \alpha_2) = 0.$$

Pour le second,

$$\frac{\mathfrak{J}_2}{p_2}\,\frac{d^2\alpha_2}{dt^2} + \frac{C_2 U}{I_2(Z_1 + Z_2)}\,(\alpha_1 + \alpha_2) = 0.$$

En ajoutant membre à membre ces deux égalités, après les avoir divisées respectivement par $\frac{\mathfrak{J}_1}{p_1}$ et $\frac{\mathfrak{J}_2}{p_2}$, il viendra

$$\frac{d^2\alpha_1}{dt^2} + \frac{d^2\alpha_2}{dt^2} + (\alpha_1 + \alpha_2)\left[\frac{p_1 C_1 U_1}{I_1(Z_1 + Z_2)\mathfrak{J}_1} + \frac{p_2 C_2 U}{I_2(Z_1 + Z_2)\mathfrak{J}_2}\right] = 0$$

et en posant $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$

$$(20)\qquad \frac{d^2\alpha}{dt^2} + \alpha\left[\frac{p_1 C_1 U}{I_1(Z_1 + Z_2)\mathfrak{J}_1} + \frac{p_2 C_2 U}{I_2(Z_1 + Z_2)\mathfrak{J}_2}\right] = 0.$$

Or, si nous désignons par T_1 et T_2 les durées des périodes d'oscillations propres de chacun de ces groupes (supposés couplés à un réseau infini), nous avons vu

Digitized by Google

dans la première partie de notre travail que l'on avait

$$T_1^2 = 4\pi^2 \frac{J_1 Z_1 I_1}{p_1 C_1 U},$$

$$T_2^2 = 4\pi^2 \frac{J_2 Z_2 I_2}{p_2 C_2 U}.$$

En remplaçant dans l'équation (20) celle-ci deviendra

$$(20) \qquad \frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{4\pi^2}{Z_1 + Z_2}\left(\frac{Z_1}{T_1^2} + \frac{Z_2}{T_2^2}\right)\alpha = 0.$$

C'est l'équation d'un mouvement oscillatoire dont la période possède une durée T donnée par l'égalité

$$(21) \qquad T = \sqrt{\frac{T_1^2\, T_2^2\, (Z_1 + Z_2)}{Z_1\, T_2^2 + Z_2\, T_1^2}}.$$

Ainsi que l'on pouvait s'y attendre, cette expression est parfaitement symétrique par rapport aux données des deux groupes.

Si les deux groupes électrogènes sont identiques, c'est-à-dire si l'on a

$$T_1 = T_2,$$

$$Z_1 = Z_2,$$

cette équation donne

$$T = T_1.$$

C'est-à-dire que (contrairement à ce qui a été parfois énoncé) la période d'oscillation de deux groupes identiques couplés entre eux est la même que s'ils étaient séparément couplés à un réseau de puissance infinie.

Ce dernier cas se trouve réalisé quand on fait $Z_2 = 0$ dans l'équation (2).

Il est facile de constater qu'elle donne alors

$$T = T_1.$$

Pour étudier plus facilement le cas où les deux groupes sont de puissances et de caractéristiques différentes, posons

$$Z_2 = mZ_1.$$

L'équation (21) deviendra alors

$$T = \sqrt{\frac{T_1^2\, T_2^2\, (1 + m)}{m\, T_1^2 + T_2^2}}.$$

Quand m est petit, c'est-à-dire quand le second groupe est très puissant par rapport au premier, T tend vers T_1, c'est-à-dire que la période d'oscillation de l'ensemble des deux groupes tend vers celle du premier.

Quand m est grand, c'est-à-dire quand le second groupe est faible par rapport au premier, T tend vers T_2, c'est à-dire que la période d'oscillation de l'ensemble des deux groupes tend vers celle du second.

En un mot, le plus petit des deux groupes est celui qui tendra à imposer sa période d'oscillation.

Remarquons, d'autre part, que des équations précédentes résulte l'égalité

$$\frac{\alpha_1}{\alpha} = \frac{\dfrac{Z_1}{T_1}}{\dfrac{Z_1}{T_1} + \dfrac{Z_2}{T_2}}.$$

En portant dans l'expression du couple synchronisant C_s, celle-ci devient, toutes simplifications effectuées,

$$C_{s_1} = K_1 \frac{1 + \dfrac{Z_2}{Z_1}\dfrac{T_2}{T_1}}{1 + \dfrac{Z_2}{Z_1}} p_1 C_1 \theta_1 = \frac{1 + m\dfrac{T_2}{T_1}}{1 + m} K_1 p_1 C_1 \theta_1.$$

On pourra donc traiter tous les cas envisagés pour le groupe couplé sur réseau infini en remplaçant le coefficient K, tel qu'il a été défini dans la première partie de ce travail, par un coefficient représenté par l'expression

$$K = K_1 \frac{1 + m\dfrac{T_2}{T_1}}{1 + m}.$$

laquelle tient compte des caractéristiques des deux groupes couplés.

Applications numériques. — Pour bien matérialiser les résultats auxquels nous sommes arrivés ci-dessus, faisons une application numérique à un cas déterminé.

Supposons couplés en parallèle deux groupes électrogènes actionnés par des moteurs à combustion interne, à 4 cylindres, du type à 4 temps et tournant à 150 tours par minute.

Nous admettrons que : *a*. Les caractéristiques électriques de l'alternateur soient définies par :

$\lambda = 0{,}25$,

$r = 0{,}02$,

μ (valeur maximum) $= 2$,

$g = 0{,}25$ (correspondant à un amortissement tel que le couple développé soit de 10 pour 100 du couple de pleine charge pour un glissement de 2,5 pour 100).

Il en résulte, pour le coefficient K, les valeurs extrêmes suivantes :

à vide, $K = 4$.

à pleine charge avec $\cos\varphi = 0{,}71$, $K = 5{,}5$.

b. L'inertie des parties mobiles du groupe électrogène soit telle que la périodicité de ses oscillations libres soit, à vide, de 1 par seconde.

1° Avec le moteur considéré, l'harmonique principale du couple moteur sera celle correspondant à la fréquence des impulsions motrices, lesquelles sont au nombre de deux par tour.

Digitized by Google

Nous admettrons que l'amplitude de cette harmonique est définie par la relation

$$\frac{C}{C_0} = 0{,}7,$$

laquelle représente à peu près le maximum qu'elle puisse prendre.

Nous aurons pour les conditions extrêmes de la charge les résultats suivants :

Valeurs de	Marche à vide,	Marche à pleine charge avec cos $\varphi = 0{,}71$.
$\frac{\omega_0}{\omega}$	0,2	0,235
$\frac{\theta_1}{\theta_0}$	1,04	1,05
$Kp\theta_1$	0,03	0,058

2° En dehors de l'harmonique principale il y a lieu d'envisager une harmonique de fréquence beaucoup plus basse correspondant à une inégalité des impulsions motrices dans les différents cylindres résultant d'inégalités difficiles à éviter dans les injections de fluides combustibles et dans la combustion.

La fréquence de cette harmonique sera celle même du cycle.

On aura donc

$$\frac{\omega}{\Omega} = 0{,}5.$$

Nous admettrons que son amplitude soit définie par

$$\frac{C}{C_0} = 0{,}05.$$

Nous aurons à vide et à pleine charge les résultats suivants :

Valeurs de	Marche à vide.	Marche à pleine charge avec cos $\varphi = 0{,}71$.
$\frac{\omega_0}{\omega}$	0,8	0,94
$\frac{\theta_1}{\theta_0}$	2,1	3,40
$Kp\theta_1$	0,065	0,13

La marche en parallèle sera encore acceptable. Mais, si toutes autres choses demeurant les mêmes, nous supposions l'amortissement réduit de telle façon que la valeur de g s'élève de 0,25 à 1, c'est-à-dire que l'amortissement soit réduit au quart de sa valeur première, les résultats deviendront les suivants :

Valeurs de	Marche à vide.	Marche à pleine charge avec cos $\varphi = 0{,}71$.
$\frac{\omega_0}{\omega}$	0,8	0,94
$\frac{\theta_1}{\theta_0}$	2,7	7,1
$Kp\theta_1$	0,085	0,33

La marche en parallèle deviendra défectueuse aux charges inductives du fait de l'amplitude des oscillations car celles-ci, par interférence avec celles dues à l'harmonique principale, donneront lieu à des échanges de puissance atteignant près de 40 pour 100 de la puissance de pleine charge.

Constitution à donner aux groupes électrogènes. — Pour être dans de bonnes conditions de marche en parallèle, il faut constituer les groupes électrogènes de telle sorte que leurs oscillations libres aient une périodicité plus basse que celle des plus basses harmoniques du couple moteur.

Nous remarquerons que les alternateurs à grande réactance se prêtent plus facilement à l'abaissement de la périodicité des oscillations libres et, par suite, à la réalisation des conditions de bonne marche en parallèle.

Or, d'autre part, l'augmentation de la réactance influe favorablement sur les dimensions et sur le coût de l'alternateur et sur la réduction des effets destructeurs des courts-circuits.

Comme l'emploi des régulateurs de potentiel à action rapide fait maintenant disparaître le seul avantage que présentait, au point de vue de la régulation de la tension l'emploi de machines à faible réactance, puisqu'ils fournissent pour cette régulation une solution entièrement satisfaisante et indépendante des caractéristiques électriques de l'alternateur, il en résulte qu'il y a tout intérêt, contrairement à la pratique longtemps en honneur, à augmenter la valeur de cette réactance autant que cela est conciliable avec l'aptitude à supporter les surcharges brusques que l'on doit réserver au groupe électrogène.

Examinons quelles sont avec les moteurs usuels les fréquences qu'il convient d'envisager pour les harmoniques du couple moteur.

Nous remarquerons, tout d'abord, que plus est brève la période du cycle décrit par le moteur, plus les conditions de bonne marche en parallèle deviennent faciles à réaliser.

Par conséquent, les machines à grande vitesse de rotation seront mieux placées sous ce rapport que les machines à rotation lente et pourront se suffire de volants beaucoup moins lourds.

Les moteurs à couple périodiquement variable entrant dans la constitution des groupes électrogènes comprennent essentiellement :

Les moteurs à vapeur à double effet.

Les moteurs à combustion interne.

Moteurs à vapeur. — Les moteurs à vapeur généralement employés dans les stations centrales sont des moteurs à vitesse lente, types Corliss, à soupapes ou à distribution par pistons valves.

Les vitesses de rotation de ces moteurs sont généralement comprises entre :

125 t : min pour les petites puissances ;

75 t : min pour les plus grandes.

Digitized by Google

La plus basse fréquence des harmoniques du couple moteur correspond à l'obliquité des bielles et à l'inégalité des efforts sur les deux faces du piston. Sa période correspond à la durée d'un tour.

Remarquons que cette fréquence est la même, que le moteur soit monocylindrique, compound-tandem, compound-parallèle ou à triple expansion. Seule l'amplitude relative de l'harmonique varie suivant le nombre de manivelles et le plus ou moins bon partage de la charge entre elles.

Par conséquent, pour cette catégorie de machines motrices, la plus basse fréquence des harmoniques du couple moteur est comprise entre :

$\frac{125}{60} = 2{,}08$ par seconde pour les machines à 125 t : min.

$\frac{75}{60} = 1{,}25$ par seconde pour les machines à 75 t : min.

Moteurs à combustion interne. — Ces moteurs (moteurs à gaz ou moteurs Diesel) sont du cycle à deux temps ou du cycle à quatre temps.

Dans le premier cas, la durée du cycle est celle d'un tour. C'est aussi celle de l'harmonique de fréquence la plus basse qu'il convienne d'envisager.

Les moteurs à deux temps, qui sont généralement de grande puissance, tournent à des vitesses qui ne dépassent pas 150 t : min et s'abaissent jusqu'à 100 t : min.

La fréquence des harmoniques correspondantes est de :

$\frac{150}{60} = 2{,}5$ par seconde pour les plus rapides.

$\frac{100}{60} = 1{,}67$ par seconde pour les plus lentes.

Pour les moteurs à quatre temps, la fréquence la plus basse à envisager est toujours celle d'un cycle, mais celui-ci se prolonge durant deux tours complets.

La vitesse de ces moteurs est généralement supérieure à 150 t : min. Toutefois, il y a tendance à employer les moteurs Diesel quatre temps pour des puissances de plus en plus grandes et certains constructeurs en ont abaissé la vitesse à 125 t : min.

La fréquence des harmoniques à considérer est supérieure à $\frac{150}{2 \times 60} = 1{,}25$ par seconde pour les moteurs à vitesse supérieure à 150 t : min.

Elle s'abaisse à $\frac{125}{2 \times 60} = 1{,}04$ par seconde pour les moteurs à 125 t : min.

Pour tous ces moteurs, qu'ils soient à deux temps ou à quatre temps, il y a lieu d'envisager la possibilité de cette harmonique quel que soit le nombre des cylindres moteurs, car il est prudent de toujours compter, surtout avec les moteurs à gaz, sur une différence dans la combustion et la puissance développée dans les différents cylindres.

Seule l'amplitude relative de l'harmonique diminue très rapidement avec le nombre des cylindres.

D'après ce qui précède, on voit que pour se trouver, dans la généralité des cas, dans des conditions satisfaisantes, il conviendra d'adopter, pour les groupes électrogènes à 50 p : sec actionnés par moteurs à pistons, une périodicité des oscillations libres inférieure à l'unité.

Cette périodicité n'est pas trop difficile à obtenir même avec des alternateurs à 50 p : sec et elle n'exige pas des poids de volant exagérés.

Nous avons vu que la durée des oscillations libres était donnée par l'équation

$$\tau = \sqrt{\frac{2\pi}{f}} \sqrt{\frac{1}{K} \frac{J\Omega^2}{W_0}}.$$

Pour $f = 50$ et $T = 1$, on obtient pour la force vive par unité de puissance

$$\frac{J\Omega^2}{W_0} = 8\,K.$$

Ou bien si nous exprimons $J\Omega^2$ en mètres carrés-kilogrammes et W_0 en chevaux

$$\frac{J\Omega^2}{W_0} = 600\,K.$$

Admettons pour K à vide la valeur $K = 3{,}5$ qui est admissible.

Il en résultera la nécessité d'une force vive, par cheval de puissance du groupe, de 2 100 m^2-kg.

Avec des volants en acier coulé tournant à des vitesses périphériques de 40 m, cette force vive peut s'obtenir avec un poids de volant par cheval de 16 à 18 kg, ce qui n'a rien d'exagéré.

Avec des volants de fonte dont la vitesse périphérique est limitée à 30 m, le poids augmente beaucoup et devrait atteindre près de 30 kg par cheval.

Si tous les groupes électrogènes susceptibles de fonctionner ensemble en parallèle étaient établis dans ces conditions, il ne serait en général pas indispensable d'employer des circuits amortisseurs.

Mais la situation se modifie quand on doit envisager la marche en parallèle de ces groupes électrogènes (principalement du type à combustion interne quatre temps) avec d'autres groupes possédant des durées moindres d'oscillations libres, tels par exemple que des groupes à marche rapide et volants légers ou des groupes turbo-alternateurs.

Pour parer à toute éventualité de ce genre, il sera donc toujours de bonne prudence de munir les alternateurs d'un circuit amortisseur énergique pouvant correspondre à des valeurs de $g = 0{,}20$ à $0{,}30$.

On pourra alors se considérer comme à peu près à l'abri de toute surprise fâcheuse.

Des amortisseurs insuffisants ne sont d'aucune utilité, car ils compliquent la construction sans donner de résultats efficaces.

Digitized by Google

Groupes électrogènes actionnés par turbines. — Avec les turbines hydrauliques, la force vive par cheval du groupe électrogène est généralement déterminée par les garanties de variation de vitesse en cas de décharge brusque.

Si nous désignons par :

t le temps de fermeture du vannage ;

ε l'écart de vitesse admis au moment d'une décharge ;

ρ la fraction de variation de charge correspondante ;

la valeur de $\frac{J\Omega^2}{W_0}$ se déduit de la relation

$$\frac{J\Omega^2}{W_0} = \frac{\rho t}{(1+\varepsilon)^2 - 1}.$$

Pour

$$\rho = 0{,}5,$$
$$t = 1 \text{ secondes},$$
$$\varepsilon = 0{,}06,$$

chiffres généralement admis en pratique, on trouve

$$\frac{J\Omega^2}{W_0} = 8{,}5.$$

Si, d'autre part, nous admettons pour l'alternateur une valeur de $K = 3{,}5$, le calcul montre que la périodicité des oscillations libres pour un groupe à 50 p : sec sera d'environ 1,8 par seconde.

Pour les groupes turbo-alternateurs à vapeur, leur force vive par cheval résulte de leur construction et ne peut guère être modifiée.

Pour des groupes tournant à 3 000 t : min qui sont les plus employés, on est généralement conduit à une périodicité d'oscillation libre avoisinant 1,7 à 1,8 par seconde.

D'une manière générale, on peut considérer que la périodicité des oscillations libres des groupes turbo-alternateurs à vapeur ou hydrauliques, et pour une fréquence de 50 p : sec, restera comprise entre les limites 1,5 et 2 par seconde.

Moteurs synchrones et commutatrices. — Ces appareils et surtout les commutatrices possèdent une force vive beaucoup moindre par unité de puissance que les groupes électrogènes. Leurs périodicités d'oscillations sont donc beaucoup plus élevées et peuvent facilement entrer en résonance non seulement avec les plus basses harmoniques du couple moteur, mais même avec les harmoniques les plus élevées.

Aussi est-il toujours recommandable de munir ces appareils d'un circuit amortisseur très énergique, lequel offre d'ailleurs l'avantage de faciliter leur démarrage.

Ce sera la meilleure sauvegarde pour le bon fonctionnement de ces appareils en toutes circonstances.

Usine de La Rochelle. — Les résultats constatés dans le fonctionnement en parallèle des groupes électrogènes de la station de La Rochelle offrent un exemple remarquable d'application des considérations exposées ci-dessus et qui mérite d'être rapporté. Cette usine contenait à l'origine deux groupes électrogènes actionnés par moteurs à gaz pauvre du type à 4 temps à 2 cylindres à double effet, tournant à 150 t : min. Il y avait donc deux impulsions motrices par tour, mais les deux cylindres étant alimentés par gazogènes différents et ne fonctionnant pas dans les deux sens dans des conditions identiques, il en résultait fatalement une inégalité dans les quatre impulsions motrices d'un cycle.

On devait donc s'attendre à voir se manifester l'harmonique de périodicité $\frac{150}{2 \times 60} = 1{,}25$ par seconde.

L'alternateur d'une puissance de 250 kw était bobiné pour 8 000 v, 50 p : sec et était muni d'un volant donnant une valeur de PD^2 égale à 140 000 kg-m², valeur très considérable pour un moteur de cette puissance. Le poids de ce volant dépassait, en effet, 37 kg par cheval.

Conformément aux idées de l'époque, ces alternateurs destinés à un service d'éclairage avaient une très faible réaction d'induit et le rapport $\frac{I_{cc}}{I_0}$ à la tension de 8000 v était supérieur à 5.

La périodicité des oscillations libres devait être donnée par l'expression

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{n}\sqrt{K\left(\frac{f}{2\pi}\frac{W_0}{PD_2}\right)} = 0{,}48\sqrt{K}.$$

Avec une valeur de K correspondant à $K = \frac{I_{cc}}{I_0}$ on aurait eu $\frac{1}{T} = 1{,}1$ correspondant à une durée d'oscillation assez éloignée de celle qui aurait produit la résonance avec l'harmonique 1,25 pour permettre une marche acceptable.

Mais, en réalité, la valeur du coefficient K, à vide, s'est trouvée voisine de 7 et il en est résulté une valeur de $\frac{1}{T}$ donnée par

$$\frac{1}{T} = 0{,}48\sqrt{7} = 1{,}28,$$

valeur très voisine de l'harmonique 1,25.

Aussi l'expérience montra-t-elle l'impossibilité de faire fonctionner ces alternateurs en parallèle à la tension de 8 000 v.

Pour obtenir une marche acceptable, il fallut pousser l'excitation jusqu'à réaliser une tension comprise entre 9 000 et 9 500 v ; la stabilité suffisante à vide s'améliorait alors avec la charge. A cette tension correspondait une valeur du coefficient K voisine de 9 ; d'où résultait, à vide,

$$\frac{1}{T} = 0{,}48\sqrt{9} = 1{,}44.$$

Digitized by Google

En charge, cette périodicité augmentait un peu, s'éloignant par suite davantage de la résonance.

Le fonctionnement en parallèle, quoique acceptable, donnait lieu à des oscillations marquées avec des battements de l'ampèremètre qui présentaient des maxima espacés d'environ 3 secondes et demie à 4 secondes.

Ces maxima provenaient évidemment d'interférences entre les périodicités des oscillations libres et celles des pulsations motrices.

La périodicité des premières pouvait donc s'en déduire par la relation

$$\frac{1}{T} - 1{,}25 + \frac{1}{4} = 1{,}50.$$

voisine de celle correspondant au calcul.

A la suite de ces essais, les bobinages de ces alternateurs furent modifiés de manière à les faire fonctionner dans la région de la caractéristique correspondant à la tension de 9 300 v et à une valeur du coefficient K comprise entre 9 et 10, c'est-à-dire avec une périodicité d'oscillation libre assez éloignée, mais *supérieure* à celle de l'harmonique 1,25.

Ultérieurement deux groupes électrogènes furent ajoutés à cette usine.

Le premier de 175 kw était actionné par un moteur Diesel, 4 cylindres, 4 temps, tournant à 300 t : min. Le coefficient K de l'alternateur ne dépassait pas 5 et la valeur de PD^2 était réduite à 9 200 kg-m².

Il en résultait une valeur de $\frac{1}{T}$ donnée par

$$\frac{1}{T} = 0{,}2\sqrt{\frac{50}{2\pi}\,\frac{15\,500}{9\,200} \times 5} = 1{,}77$$

par suite très supérieure à 1,25.

Cet alternateur fonctionna convenablement en parallèle avec les moteurs à gaz ; il avait été fourni par le même constructeur qui avait déjà livré les deux moteurs à gaz.

Le second groupe de 500 kw était actionné par un moteur Diesel 3 cylindres, 2 temps, tournant à 150 t : min. L'alternateur (fourni par un constructeur différent qui en avait garanti la bonne marche en parallèle avec les premiers, sous la seule condition que ceux-ci fonctionnaient bien en parallèle entre eux), était du type volant et possédait une valeur de PD^2 égale à 220 000 kgm² avec un coefficient $K = 3{,}3$.

La périodicité des oscillations libres, à vide, devait être

$$\frac{1}{T} + 0{,}4\sqrt{\frac{50}{2\pi}\,\frac{50\,000}{220\,000} \times 3{,}3} = 0{,}96.$$

Cet alternateur fonctionna bien en parallèle avec le petit groupe de 175 kw, mais ne put jamais fonctionner avec les moteurs à gaz.

Cela provenait évidemment de ce que leur périodicité combinée comprise entre 0,96 et 1,44 était trop voisine de l'harmonique 1,25.

En outre, cet alternateur ne possédait aucun circuit amortisseur.

Il fut ultérieurement ajouté deux autres groupes électrogènes Diesel 4 temps, 4 cylindres de 500 kw tournant à 214 t : min dont PD^2 et le coefficient K furent calculés pour donner une périodicité d'oscillation libre voisine de l'unité. Ces groupes furent, en outre, munis d'amortisseurs énergiques.

La marche en parallèle eut lieu dans des conditions parfaites et sans aucun incident avec les deux groupes Diesel déjà installés. Comme on pouvait s'y attendre, elle fut défectueuse avec les moteurs à gaz et ceux-ci durent être finalement supprimés.

M. DE MARCHENA.

Revues, analyses et informations

Oscillations électriques non-amorties de courte longueur d'onde

Nous reproduisons ci-dessous une note de MM. Gutton et Touly transmise récemment à l'Académie des Sciences (1) par M. Blondel.

Au cours des études faites dans les laboratoires de la Radiotélégraphie militaire, en vue de l'application des lampes valves à trois électrodes à la génération des ondes longues utilisées en télégraphie sans fil, nous avons réalisé un appareil permettant d'entretenir des oscillations aussi fréquentes que les oscillations de Hertz.

Pour obtenir des oscillations de longueurs d'onde aussi courtes, nous avons constitué le circuit oscillant avec la capacité très faible du condensateur formé par la grille et la plaque de la lampe et la self-induction des seuls fils de connexion nécessaires. Le montage est indiqué en figure 1.

La plaque p et la grille g de la lampe sont réunies par un fil abcd, sur lequel est intercalé un condensateur de capacité relativement grande $\left(\frac{1}{1\,000}\text{ à }\frac{2}{1\,000}\text{ microfarad}\right)$ chargé par une batterie d'accumulateurs A. L'armature positive est reliée à la plaque, l'armature négative est réunie, d'une part à la grille, d'autre part au filament. On chauffe ce filament en y faisant passer un courant fourni par la batterie d'accumulateurs B.

Lors de l'allumage de la lampe, l'établissement du courant de plaque fait naître, le long du fil ab, une force électromotrice de self-induction qui commence à faire osciller le circuit pabedg. Les variations périodiques du potentiel de

(1) GUTTON et TOULY ; Oscillations non amorties de courte longueur d'onde. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 3 février 1919, t. CLXLVIII, p. 271-274, 1 fig.

Digitized by Google

la grille provoquent alors des variations d'intensité du courant de plaque et une force électromotrice alternative le long du fil ab. Cette force électromotrice augmente l'amplitude des oscillations primitives, puis les entretient à intensité constante.

La condition d'entretien et la condition à réaliser afin d'obtenir la plus grande amplitude possible sont les mêmes que dans le cas des oscillations de grandes longueurs d'onde. On doit se tenir près de la limite d'entretien. Pour construire un oscillateur, on se donne la longueur du fil cd et l'on détermine par des essais la longueur du fil ab

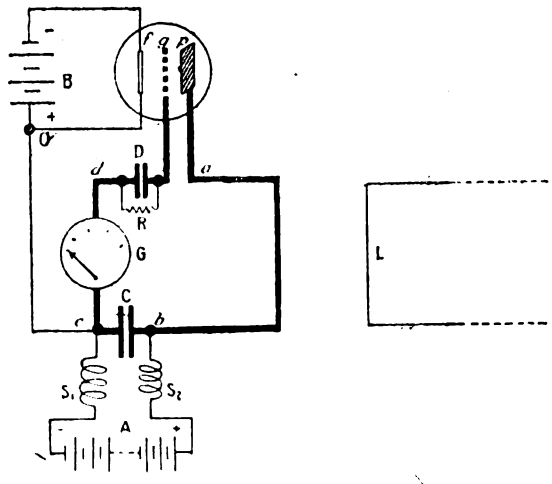


Fig. 1.

plus favorable. La longueur d'onde obtenue est d'autant plus courte qu'on a choisi un fil cd plus court et de plus grand diamètre.

Sur le fil cd, on intercale un petit ampèremètre thermique qui indique l'intensité efficace du courant de haute fréquence obtenu. Pour les ondes courtes, le fil de cet ampèremètre constitue la majeure partie de la self-induction cd.

Il est bon d'ajouter, sur le circuit oscillant du côté de la grille, un condensateur D d'une capacité égale à quelques dix-millièmes de microfarad et une résistance R de 10 000 ohms en dérivation entre les armatures. Cette disposition, en abaissant le potentiel moyen de la grille, diminue beaucoup les intensités moyennes des courants, sans réduire l'amplitude des oscillations. L'échauffement de la grille et de la plaque de la lampe se trouve donc diminué.

Deux bobines S_1 et S_2 empêchent les oscillations de se propager entre le circuit oscillant et la batterie d'accumulateurs A. Leur présence permet de rendre le réglage indépendant de la position des fils qui viennent de cette batterie. Enfin le fil de retour co au filament doit être maintenu dans la position pour laquelle l'appareil a été réglé ; on lui donne la forme pour laquelle l'induction par le circuit oscillant est réduite au minimum.

La force électromotrice de la batterie A étant 320 v et en employant une lampe de petit modèle de la Radiotélégraphie militaire, on abaisse facilement la longueur d'onde jusqu'à 3 m. L'intensité efficace du courant oscillant dépasse l'ampère.

En remplaçant l'ampèremètre thermique par une ampoule de lampe de poche, on arrive à abaisser encore la longueur d'onde.

Enfin, nous avons obtenu des ondes de moins de 2 m, en utilisant une lampe de plus petite capacité et en intercalant sur le circuit oscillant, entre le condensateur C et l'ampèremètre G, un condensateur de capacité aussi faible que celui de la lampe valve. On assure alors le retour au filament des courants moyens de plaque et de grille par deux fils distincts, dont on règle convenablement la self-induction.

Un résonateur de Hertz, au ventre de courant duquel on dispose une petite lampe, permet d'explorer le champ de l'oscillateur. On peut aussi employer un résonateur, au ventre de tension duquel on place un tube à néon.

Les résonances obtenues présentent un degré d'acuité remarquable et permettant par suite un accord très précis.

Le long d'une ligne L de deux fils parallèles, les oscillations entretenues donnent naissance, pour les longueurs convenables de la ligne et pour celles-là seulement, à un système d'ondes stationnaires sans amortissement. On répète facilement et avec une très grande précision les expériences de Hertz sur la propagation le long des fils (1).

Pour des recherches sur les oscillations électriques, l'emploi d'ondes entretenues présente de nombreux avantages. Le courant a une amplitude constante mesurable. Si l'oscillateur est réglé près de sa limite d'entretien, les vibrations harmoniques sont extrêmement faibles. Les inconvénients nombreux, qui résultent, lors de l'emploi des étincelles, des longs arrêts, qui séparent deux étincelles consécutives, disparaissent. Les mesures acquièrent une grande précision et l'on peut signaler parmi les applications immédiates des oscillateurs que nous venons de décrire, leur emploi à la mesure précise, dans des conditions simples et bien définies, des constantes diélectriques.

Le synchronisme dans l'appareil multiplex employé par l'armée américaine (2).

L'appareil multiplex de la Western Electric C° est basé sur le même principe que celui de Baudot, dont il ne diffère que par des conditions de réalisation et d'exploitation : c'est ainsi que la transmission manuelle y est remplacée par la transmission automatique, avec composition préalable, et que l'impression, à l'arrivée, a lieu, non sur une bande, mais sur une feuille que l'on coupe après chaque message. L'entraînement et la régularisation du mouvement des balais ont lieu à l'aide d'une roue phonique dont les électro-aimants sont excités par un diapason; les vibrations de celui-ci sont entretenues électriquement.

Le maintien du synchronisme, c'est-à-dire la rectification de la position des balais de l'un des distributeurs par rapport à son correspondant, s'opère sans courants spéciaux, suivant le principe déjà appliqué par Pierre Picard sur les communications Baudot desservant les câbles sous-marins franco-algériens ; la correction est susceptible de fonctionner à un moment quelconque de la course des balais, toutes les fois qu'au cours de la transmission une émission positive succède à une émission négative; elle n'a lieu, cela se conçoit, que si, à ce moment, un écart appréciable s'est produit dans la position des balais du poste corrigé. Le fonctionnement de l'électro-aimant correcteur détermine alors un décalage des balais, à l'aide d'un mécanisme analogue à celui du Baudot.

(1) Notre dispositif permet le couplage par induction, que n'avait pu réaliser le montage de W.-G. White (*General Electric Review*, t. XIX, 1916, p. 774) et de produire des ondes de longueurs beaucoup plus courtes.

(2) TOUPET. *Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones*, décembre 1918, p. 608, 4 800 mots, 3 fig.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

Contribution à la détermination du régime hydraulique du Cher

A la suite de la publication de la note de M. Morin portant ce titre dans la « R. G. E. » du 23 novembre 1918, t. IV, p. 805-806, M. Lévy-Salvador nous a communiqué les résultats des calculs qui furent effectués en 1903-1904 pour les études préparatoires de l'entreprise du barrage de Rochebut par M. Mialot, auteur du projet réalisé. Les éléments de ces calculs étaient d'ailleurs connus de M. Morin qui n'attendait pour les traduire en valeurs du débit que de pouvoir établir, à l'aide d'une méthode chronographique de son invention, une relation précise entre les cotes relevées et les débits vrais. Dans la crainte que cette attente n'entraîne un trop grand retard, il a utilisé dans la note ci-dessous les résultats communiqués par M. Lévy-Salvador pour faire ressortir l'influence du barrage sur la régularisation du débit du Cher.

Les nombres de M. Mialot ont été obtenus à l'aide des relevés de cotes quotidiens faits par l'Administration du Canal du Berry à une échelle placée sur le principal pont du Cher à Montluçon. Il existe, un peu en aval, un barrage déversoir établi pour dériver dans le canal la quantité d'eau nécessaire à son alimentation. Connaissant les dimensions de ce déversoir et la relation existant entre l'épaisseur de la nappe déversante et les cotes de l'échelle, il est possible d'évaluer avec une assez grande approximation les débits journaliers de la rivière à Montluçon. D'autre part, la comparaison des étendues de surface versante, à Montluçon et à Rochebut, en admettant l'uniformité d'alimentation, permettait d'évaluer les débits à l'emplacement du barrage projeté.

Les observations utilisées portent sur une période de 17 années, 1888 à 1904, comptant plusieurs années particulièrement sèches, notamment 1894 et 1899. Pour diverses raisons, dont l'une est la prudence qui s'imposait à l'ingénieur dans l'appréciation du débit global qu'il se proposait d'utiliser, les débits en question sont

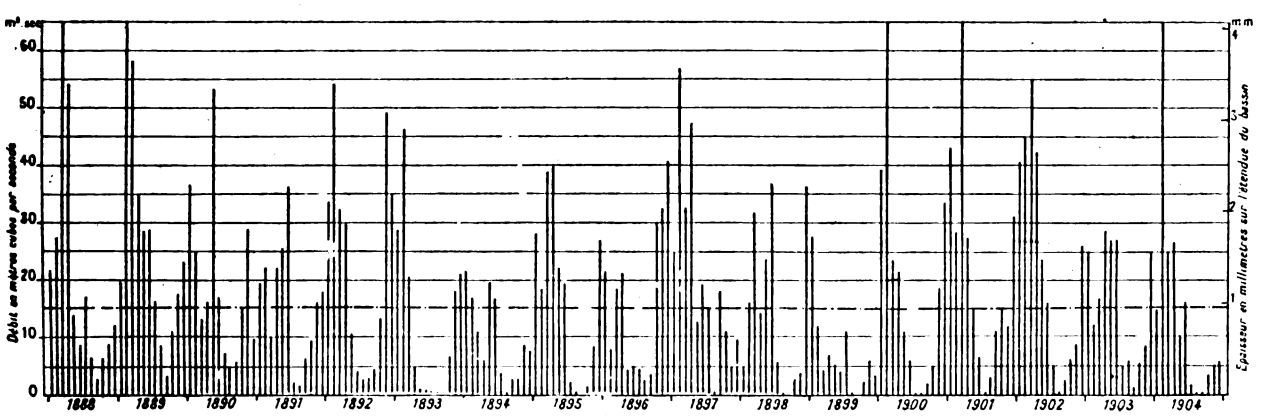


Fig. 1. — Débits moyens du Cher, par mois, avant l'érection du barrage de Rochebut d'après les nombres de M. Mialot.

un peu sous-évalués. Le débit global moyen annuel serait de 471×10^6 m³ : an, inférieur d'un cinquième à celui auquel mes observations directes me conduisent : 590×10^6 m³ : an.

Ce qui fait surtout l'intérêt de ces résultats, c'est la comparaison qu'ils permettent d'effectuer entre les régimes du Cher, sous Rochebut, avant et après la construction du barrage ; ils mettent nettement en évidence le rôle régulateur, déjà important, rempli par cet ouvrage.

Le graphique, figure 1, donne les débits moyens journaliers, calculés par mois, pendant toute la période envisagée ; il montre l'allure particulièrement capricieuse du débit en question. Si l'on considère que les débits ainsi représentés sont déjà des moyennes, on se rend compte de l'énormité des variations entre les débits instantanés maxima et minima. On voit que le débit moyen journalier se réduit quelquefois en août, à une valeur si faible qu'elle n'est plus représentable à l'échelle employée.

Digitized by Google

L'examen d'ensemble de ce graphique fait voir le caractère nettement périodique des flux et suggère l'idée d'envisager les périodes à comparer, non plus entre deux périhélies consécutifs, c'est-à-dire de 1er janvier en 1er janvier, mais entre deux équinoxes d'automne. Pour établir l'une des parties du graphique, figure 2, nous avons pris des périodes limitées au 1er septembre afin de traduire cette conception plus rationnelle. La superposition des deux modes de représentation d'un même phénomène montre d'importantes différences entre les résultats et cela prouve que, dans la représentation graphique des circonstances d'un phénomène naturel périodique, le choix de l'origine des temps n'est pas indifférent. Dans le cas qui nous occupe, en particulier, ce qu'il importe de connaître pour déterminer la capacité des réservoirs régulateurs, ce sont surtout les diverses valeurs du débit global annuel entre les étiages et non pas pendant les durées de l'année civile.

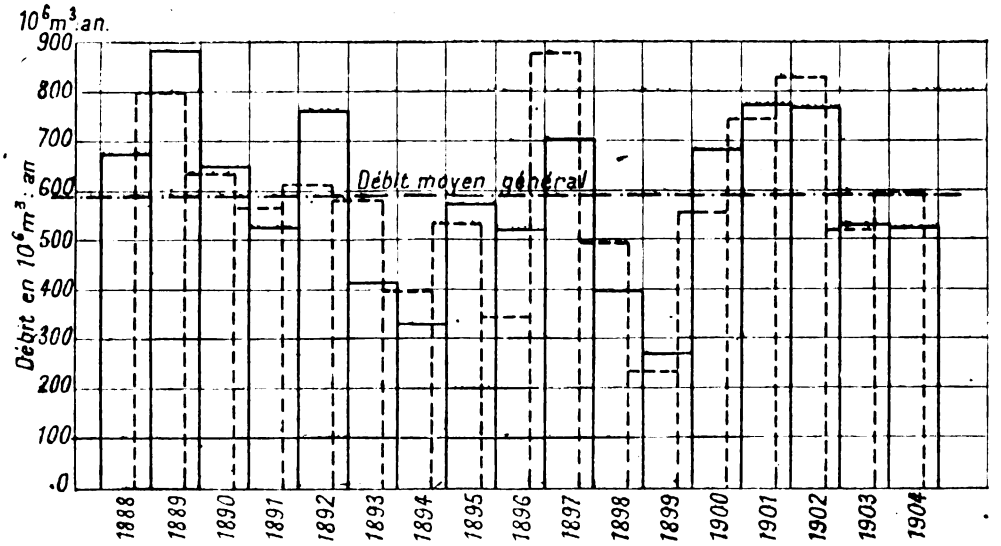


Fig. 2. — Débits annuels du Cher par année civile et par année interéquinoxiale.

Le graphique figure 3, représente le régime moyen résultant de la sommation des 17 années étudiées par M. Mialot, superposé à celui qu'introduit mes propres observations sur le nouvel état des choses.

Pour rendre ces deux régimes absolument comparables, il fallait se baser sur un même débit moyen annuel. Dans ce but j'ai ramené les nombres de M. Mialot à la valeur nécessaire pour que leur moyenne générale annuelle donne aussi un débit de 590×10^6 m³ : an.

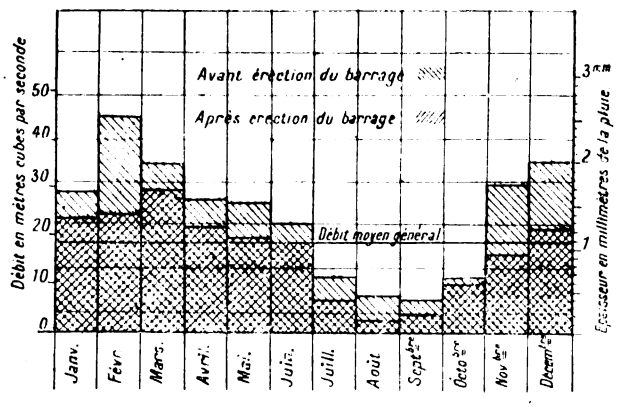


Fig. 3. — Débits du Cher à Rochebut avant et après l'érection du barrage.

Le troisième graphique montre que le creux des mois déficitaires de l'ancien régime est beaucoup plus marqué que celui du nouveau. Il y avait autrefois cinq mois franchement déficitaires ; il n'y en a plus que quatre maintenant. Dans l'ancien régime, la somme des déficits, — égale à celle des excédents, — dépassait le quart du débit global moyen (assez exactement 0,26). Dans le régime nouveau, nous avons vu que cette fraction est descendue à 0,23 (1). Nous voyons aussi que, s'il y a une amélioration notable, nous sommes encore très loin du régime idéal dans lequel la cote d'irrégularité se réduirait à zéro. Ajoutons que, même avec une cote ainsi définie, la valeur zéro ne correspondrait pas encore à un débit absolument uniforme, car elle se rapporte à un régime annuel calculé d'après la moyenne d'un grand nombre d'années et le graphique 2 montre que le débit global annuel peut varier presque dans le rapport de un à quatre ; mais ce n'est pas une raison pour ne pas chercher à se rapprocher de la cote idéale d'autant moins que la topographie du bassin du Cher se prête admirablement à la création de nouvelles chutes et de nouveaux réservoirs dans des conditions peu onéreuses, — si une législation convenable supprime le négoce des « barreurs de chute ».

P. Morin.

(1) Je proposerais volontiers d'appeler *cote d'irrégularité* cette fraction caractéristique du régime d'un cours d'eau.

Digitized by Google

Remarques sur l'établissement et l'exploitation des installations de condenseurs

Dans un premier article publié dans la " R. G. E. " du 26 octobre 1918, t. IV, p. 627, sous le même titre, M. Oettinger avait étudié le rôle de l'installateur, dans l'établissement des appareils de condensation des usines à vapeur. Dans l'article ci-dessous, il examine le rôle de l'exploitant et les précautions à prendre par celui-ci pour obtenir les meilleures conditions de service.

Rôle de l'exploitant. — Généralités. — L'ingénieur qui prend la direction d'une exploitation a deux tâches bien distinctes à remplir.

1. — Il doit assurer la marche normale et continue de son usine.

2. — Il doit approfondir ensuite l'étude de son matériel pour en retirer le meilleur rendement possible.

Pour que l'ingénieur puisse disposer du temps nécessaire à l'étude de ce second point, il est indispensable qu'il soit secondé par un personnel d'entretien continu, auquel il devra donner des instructions précises.

Établissement des instructions nécessaires pour le service de condensation. — Avant d'établir ces instructions l'ingénieur devra s'assurer personnellement du bon état de tous les appareils de condensation et il tâchera de se procurer toutes les données qui caractérisent son installation.

Supposons comme exemple une installation de condensation par surface, on devra réaliser les essais suivants :

Premier essai. — La turbine est à pleine charge, et le débit de vapeur est, soit connu, soit mesuré ; on relèvera :

p_0, pression absolue en millimètres de mercure au condenseur ;

t_e, température d'entrée de l'eau de circulation ;

t_s, température de sortie de l'eau de circulation ;

t_c, température de l'eau condensée ;

h, pression de l'eau de circulation à l'entrée en millimètres d'eau ;

π, débit de l'eau de circulation en mètres cubes par minute.

K ou (K_1, K_2, K_3), puissance en kilowatts absorbée par le ou les moteurs de commande des pompes.

Deuxième essai. — Répétition du premier essai avec la turbine travaillant à demi-charge.

Troisième essai. — Répétition du même essai avec la turbine tournant à vide.

Conclusions. — De ces essais on peut tirer toutes les caractéristiques de l'exploitation.

a) La pression p_0 permet de déterminer la température t_0 de saturation de la vapeur d'eau.

$t_0 - t_s$ représente une valeur caractéristique pour chaque installation, elle peut varier entre 0,5 et 5° C. L'installation est d'autant meilleure que cette différence est plus faible.

b) $t_e - t_s$, h, π fournissent les renseignements nécessaires pour déterminer le coefficient de transmission de chaleur du faisceau tubulaire. Ces valeurs servent de bases pour le réglage de la quantité de l'eau de circulation dans toutes les conditions de marche. Elles indiquent également si les condenseurs se trouvent en état de propreté.

Instructions. — Une fois ces essais réalisés, on s'en servira pour formuler les instructions.

ARTICLE PREMIER. — Supposons par exemple qu'on ait constaté pour $t_0 - t_s$ la valeur caractéristique de 3° C. On trouvera une courbe analogue à celle de la figure 1, qui a été obtenue à l'aide du tableau ci-dessous.

Tableau des températures et tensions absolues correspondantes de la vapeur saturante.

TEMPÉRATURE EN DEGRÉS C	PRESSION EN MM HG	PRESSION EN KG : M²
0	4,6	85
10	9,2	125
13	11,3	153
16	13,6	185
19	16,4	223
22	19,7	268
25	23,6	321
28	28,0	381
31	33,4	454
34	39,6	538
37	46,7	635
40	54,9	747
43	64,2	874
46	75,3	1 023
49	87,6	1 190

On remettra au chef mécanicien un exemplaire de cette feuille (fig. 1) en lui recommandant de consulter spécialement cette courbe de contrôle du vide ; il devra obtenir, avec la température de l'eau de circulation portée en abscisse, la pression absolue au condenseur marquée par l'ordonnée correspondante.

Si la pression relevée au condenseur est plus élevée que celle donnée par la courbe, cela veut dire que le vide est insuffisant et on devra rechercher un des défauts suivants dans le système.

a) Une rentrée d'air.

Digitized by Google

b) Une irrégularité dans la pompe à air.

c) Des dépôts dans le faisceau tubulaire.

ARTICLE SECOND. — Une deuxième feuille indiquera :

a) Le débit π de l'eau de circulation à employer pour les différentes charges W de la turbine.

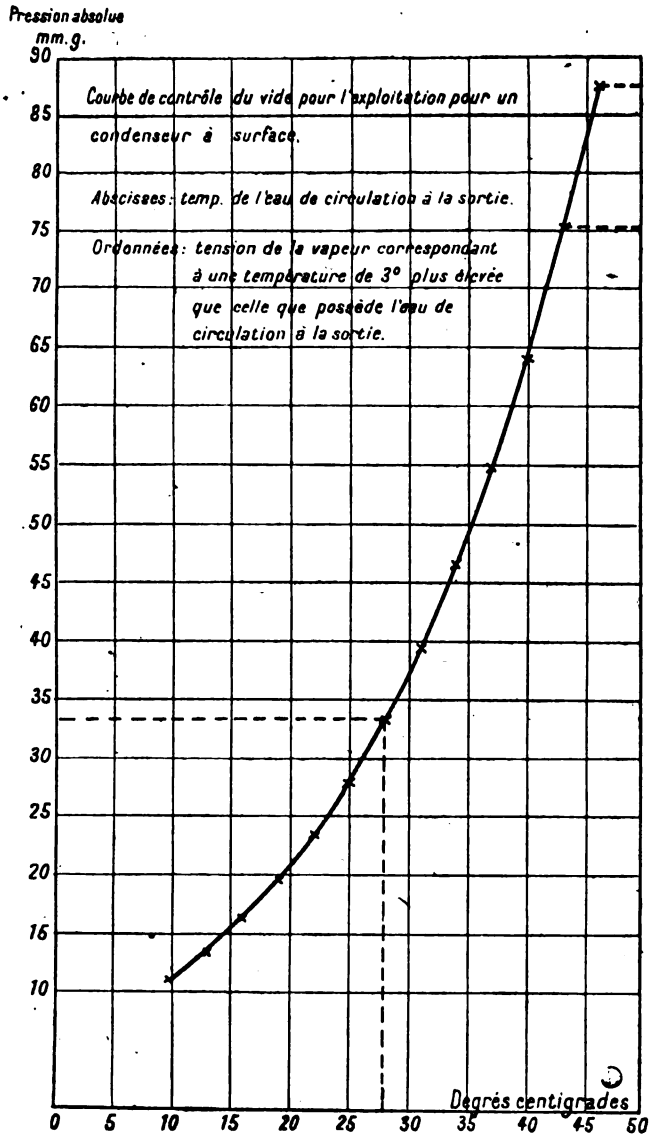


Fig. 1.

Observation. — L'ingénieur jugera si on a intérêt à faire varier π pour des W différents.

b) La hauteur h pour le débit π correspondant.

Observation. — Si π diminue en cours de marche la valeur de h restant la même, il faut s'assurer si des impuretés bouchent une partie du faisceau tubulaire, et vérifier le fonctionnement de la pompe de circulation.

c) La valeur $t_e - t_s$ pour des valeurs de π et des charges de W déterminées.

Observation. — Si $t_e - t_s$ est en dessous de ces chiffres, il y a des dépôts dans le tube.

Si $t_e - t_s$ est en dessus de ces chiffres, π doit avoir diminué.

RECHERCHES DES RENTRÉES D'AIR. — En pratique, quand on veut réaliser des vides élevés et les garder, on se heurte souvent à une grosse difficulté; l'air s'infiltre par de nombreux endroits qu'il est difficile de localiser.

Nous rappellerons seulement quelques cas qui peuvent se présenter.

a) Fuite par un des *nombreux joints* de la tuyauterie, de la turbine, des soupapes, des manomètres, des raccords.

b) Rentrée d'air par les boîtes d'étanchéité de la turbine provoquée par le manque d'attention dans la surveillance de l'injection de la vapeur de scellement.

c) Abaissement du vide lors de la mise en marche de nouvelles chaudières.

d) Rentrée d'air par les *presses étoupes* de pompes, de soupapes ou de robinets.

e) Rentrée d'air par les *porosités* de la tuyauterie en communication avec le vide.

Notons en passant qu'il serait bon, avant le montage de cette tuyauterie, de la soumettre à une épreuve de pression.

f) Rentrée d'air par des robinets laissés ouverts par inadvertance.

g) Fuite provenant du faisceau tubulaire, soit par manque d'étanchéité des presses étoupes, soit par percement de certains tubes. Dans ce dernier cas l'eau de circulation, entrant dans le compartiment à air et vapeur, libère une quantité d'air qui provoque un abaissement du vide. De plus, l'eau de circulation se mélange avec l'eau condensée et donne à cette dernière un degré de dureté nuisible à l'alimentation des chaudières.

Il est donc indispensable de contrôler constamment l'eau condensée.

Les remarques précédentes sont suffisantes pour permettre au personnel d'entretien de surveiller la marche de la condensation.

Nous n'avons pas besoin d'insister sur l'attention qui est à apporter pour suivre également attentivement la marche des pompes et des moteurs.

PROBLÈMES SPÉCIAUX. — Nous croyons intéressant d'étudier encore quelques problèmes qui peuvent avoir leur importance pour l'exploitation. La thermodynamique et des essais appropriés nous fournissent des renseignements précieux.

1° *Section de tuyère correspondante.* — Supposons qu'on constate certaines rentrées d'air dans une installation de condensation. Il serait utile de pouvoir les comparer immédiatement à une ouverture d'une section bien déterminée.

Pour arriver à ce résultat on fera une série d'essais. On créera des rentrées d'air artificielles par des orifices connus. Le débit de ces ouvertures est facile à déterminer, il est représenté par la figure 2 pour de l'air à

Digitized by Google

une température de 20° C et une pression barométrique de 760 mm de mercure. On relèvera la pression, la température, la puissance comme dans les essais signalés plus haut. De ces lectures on déterminera la pression p_e de l'air (on sait que la pression dans les condenseurs est la

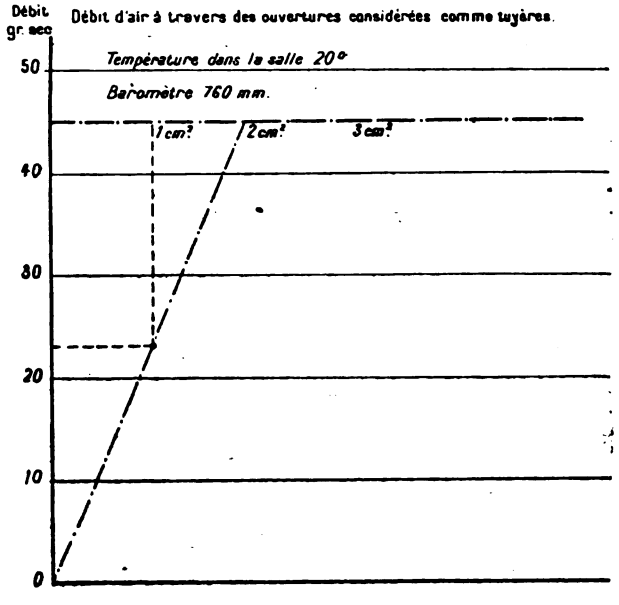


Fig. 2.

somme de la tension de vapeur saturée de l'eau condensée et de la pression de l'air).

Ceci fait, on tracera une courbe de p_e en fonction de la section S des tuyères créant des rentrées d'air artificielles (fig. 3). Cette courbe nous indiquera donc immé-

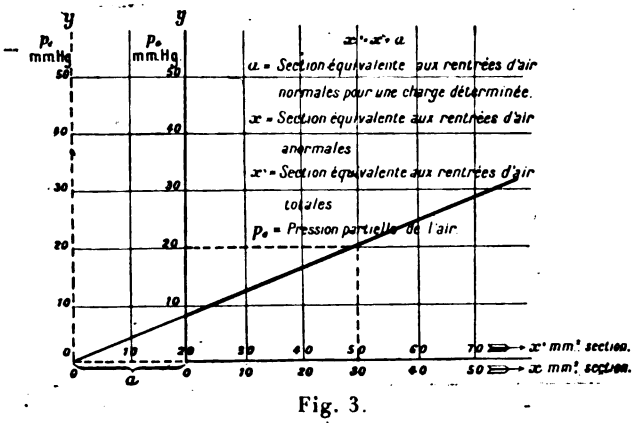


Fig. 3.

diatement, pour des pressions p_e relevées en cours d'exploitation, les sections de *tuyères équivalentes* aux *fuites d'installation* (ou autrement dit des rentrées d'air anormales ou supplémentaires).

Cette courbe nous renseigne encore sur d'autres points.

Si on fait l'extrapolation de la courbe jusqu'à l'axe des x, on obtient en a la grandeur qui représente, pour un débit de vapeur donné, la section de la *tuyère équivalente aux rentrées d'air normales ;* ce chiffre est très intéressant à connaître.

2° *Rendement volumétrique de la pompe à air.* — Pour savoir quel est le volume d'air total évacué par la pompe

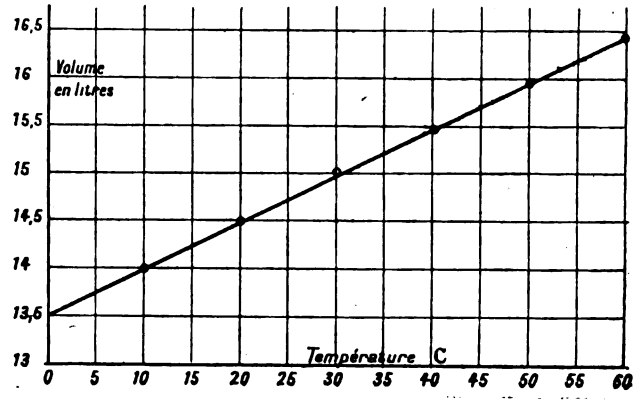


Fig. 4.

à air, reprenons la figure 3. Déplaçons l'axe des y de a et portons les sections à partir de a (au lieu de x nous aurons $x' = x + a$). Ensuite, en utilisant l'équation fondamentale des gaz appliquée à l'air $pv = RT$ et la figure 2, nous pouvons établir une courbe suivant (fig. 4) :

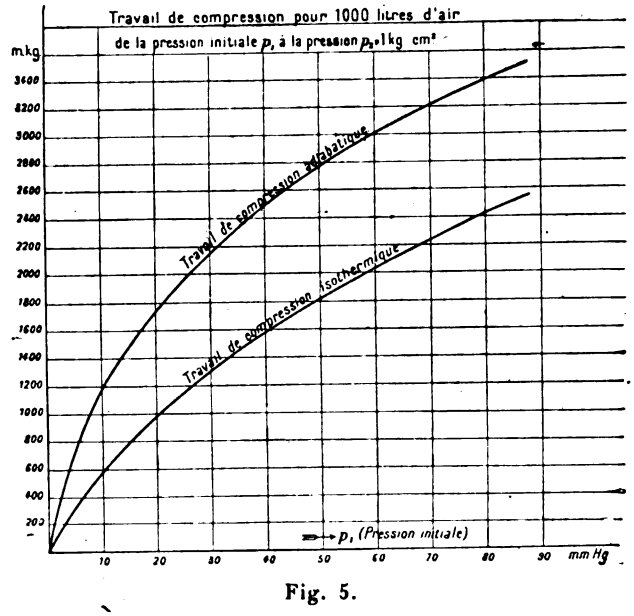


Fig. 5.

En abscisses nous donnons le débit d'air en litres par seconde, passant de la pression atmosphérique à la pression de 1 cm de mercure et à travers une section de 1 mm².

En ordonnées, la température t de l'air à l'intérieur du condenseur (tab. II et fig. 4).

Cette courbe permettra de déterminer rapidement la quantité d'air évacué.

Digitized by Google

TABLEAU II.

TEMPÉRATURE EN DEGRÉS C	$V_{11} = 0{,}23\ V_1$
10	14,0
20	14,48
30	15
40	15,45
50	15,95
60	16,41

V_{11} représente le volume en litres par seconde de 1 gr d'air à la pression de 1 cm de mercure et traversant une ouverture de 1 mm² de section.

Exemple : supposons que nous ayons trouvé $x' = 50$ mm², $p_e = 2$ cm de mercure et $t = 20°$ C. Nous trouvons, pour V_1 la valeur 14,5 d'après la figure 4 et la quantité d'air évacué est égale à $\frac{14{,}5 \times 50}{2} = 362{,}5$ litres par seconde.

3° *Puissance absorbée.* — Le débit d'air évacué étant connu, cherchons à déterminer rapidement l'ordre de grandeur de la puissance absorbée par la pompe à air. Traçons la courbe 1 (fig. 5) qui représente le travail de compression isothermique nécessaire pour comprimer 1 000 litres d'air de la pression initiale p_1 à la pression finale $p_2 = 1$ kg : cm².

$$A_{is} = p_1 v_1 \log_e \frac{p_2}{p_1}.$$

Il est intéressant d'observer que cette courbe possède un maximum pour la pression de 271 mm de mercure et que le travail maximum correspondant est

$$A_{is\,max} = 3\,690 \text{ kgm : sec} = 36{,}2 \text{ kw}$$

A titre de comparaison, nous avons tracé également la courbe 2 de la figure 5 qui représente le travail de compression adiabatique dans les mêmes conditions

$$A_{ad} = \frac{K}{K-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right].$$

On voit sur la figure que la compression adiabatique correspondante exige un supplément d'énergie de 40 à 100 pour 100. On a donc un grand intérêt à employer une pompe à air réalisant le plus près possible la compression isothermique.

Nous croyons que les quelques considérations qui précèdent pourront rendre d'utiles services dans l'exploitation des installations de condensation.

C. OETTINGER.

Revues, analyses et informations

L'électrification partielle d'un grand réseau de chemins de fer.

Nous avons publié déjà, dans la « Revue générale de l'Electricité » du 16 novembre 1918, t. IV, p. 730, un compte rendu de la conférence de M. Sabouret, nous y revenons aujourd'hui avec plus de détails (1).

La Compagnie d'Orléans a demandé en décembre 1917 la concession d'importantes chutes d'eau sur la haute Dordogne et quelques-uns de ses affluents dans la région de Bort, aux confins des départements de la Corrèze et du Cantal, dans le but de créer des usines hydro-électriques destinées à fournir le courant à la partie sud-est du réseau qui serait électrifiée.

La puissance brute permanente de ces usines, après régularisation des débits, sera d'environ 100 000 ch, pouvant produire annuellement 500 000 000 kw-h. Le réseau électrifié comprendra environ 3 000 km de lignes, soit 40 pour 100 du réseau total. Les lignes dont l'électrification est projetée sont représentées par un double trait sur la figure 1. La réalisation du programme demandera de 15 à 20 ans.

Les principales directions intéressées sont, du Nord au Sud ; Châteauroux à Montauban, section méridionale de la grande artère de Paris à Toulouse ; Limoges à Agen ; Brive à Toulouse par Capdenac ; Montluçon à Aurillac et Neussargues et, de l'Ouest à l'Est, les trois transversales qui se partagent actuellement le trafic de Bordeaux-La Rochelle vers Lyon, Saint-Etienne et la Suisse auxquelles s'ajoutera la grande rectification proposée par la Compagnie entre Limoges et Saint-Germain-des-Fossés.

La zone même du Plateau Central, autour des usines (partie hachurée), serait entièrement transformée. Les lignes électrifiées qui s'en détachent vers l'Ouest et le Sud seraient toutes reliées entre elles de façon à assurer une exploitation homogène.

L'auteur examine ensuite les considérations qui ont entraîné la Compagnie d'Orléans à entreprendre une transformation de si grande envergure et qui l'empêchent d'envisager l'électrification totale de son réseau.

Il examine successivement les trois questions suivantes :

I. — Caractéristiques des principaux systèmes de traction ;

II. — Avantages d'exploitation à attendre de l'électrification ;

III. — Avantages économiques.

I. — **Systèmes de traction.** — Quel que soit le système de traction adopté, la Compagnie d'Orléans estime qu'il devra satisfaire à trois conditions :

1° Emploi de sous-stations de transformation par appareils tournants ;

2° Distribution par fil aérien du courant de travail à haute tension ;

(1) Conférence faite le 9 novembre 1918, à la Société d'Encouragement par M. Sabouret, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, ingénieur en chef des Services techniques de la Compagnie d'Orléans. *Bulletin de la Société d'Encouragement*, novembre-décembre 1918, p. 346.

Digitized by Google

3° Recours à la récupération dans la descente des pentes.

1° Sous-stations rotatives. — Les usines de la Compagnie d'Orléans produiraient le tiers de ce que peut fournir le Massif central en énergie ; il y aurait donc intérêt à ce que le réseau primaire de distribution puisse servir normalement ou accidentellement au transport de l'énergie sortant de toutes les usines régionales. Le courant primaire qui sera adopté dans toutes les distributions françaises étant du triphasé 50 périodes par seconde, et cette forme de courant ne pouvant être utilisée directement pour la traction, on sera forcé d'avoir recours à des convertisseurs tournants dans les sous-stations de distribution.

2° Fil aérien. — Les conditions d'exploitation imposent l'emploi d'un courant de traction de tension au moins égale à 3 000 volts, ce qui ne peut être réalisé qu'en employant une ligne de travail aérienne.

3° Récupération. — La figure 2 représente la courbe de l'énergie absorbée en rampe et celle de l'énergie récupérée en pente par 100 t-km en fonction de la vitesse et pour les déclivités de 10 et 25 mm : m.

Un train de marchandises montant à la vitesse de 30 km : h et descendant à la vitesse de 40 km : h récupère à la descente 32 pour 100 de l'énergie consommée à la montée, en rampe de 25 mm : m et 17 pour 100 seulement, en rampe de 10 mm : m.

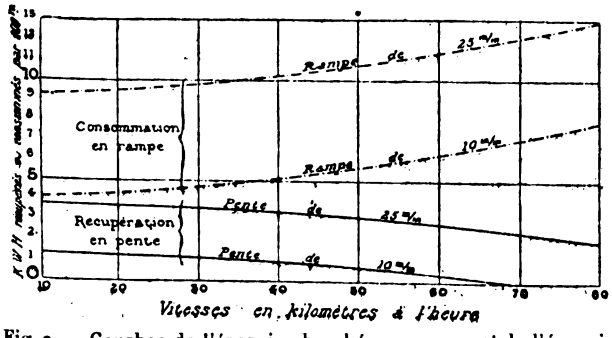


Fig. 2. — Courbes de l'énergie absorbée en rampe et de l'énergie récupérée en pente.

Pour un train de voyageurs en rampe de 25 mm : m qui monte à la vitesse de 50 km ; h et descend à celle de 60 km : h la récupération est de 24 pour 100 ; mais sur une pente de 10 mm : m la récupération est nulle au-delà de la vitesse de 70 km : h qu'atteignent ou dépassent tous les trains de voyageurs.

La récupération est donc très avantageuse sur les lignes accidentées mais n'a aucun effet sur les lignes de déclivité caractéristique inférieure à 10 mm ; m.

En dehors de l'économie d'énergie, la récupération possède encore un autre avantage : elle permet de modérer la vitesse des trains et assure une sécurité beaucoup plus grande que tous les systèmes de freinage actuellement employés. De plus elle ne cause aucune usure et aucune dislocation au matériel roulant.

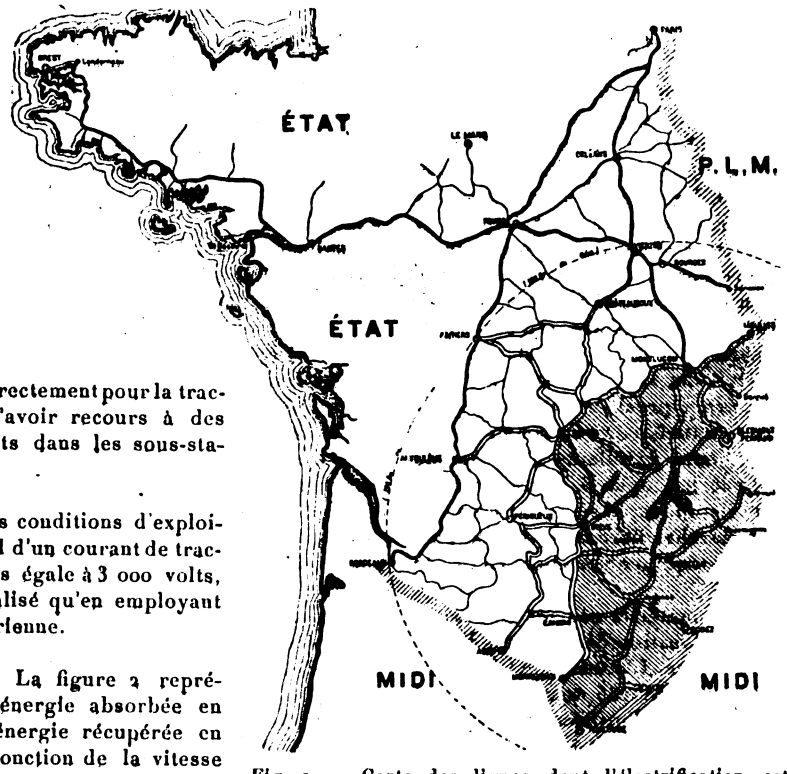


Fig. 1. — Carte des lignes dont l'électrification est prévue par la Compagnie d'Orléans.

A deux exceptions près, les lignes de la Compagnie d'Orléans dont l'électrification est projetée ont des déclivités variant entre 10 et 33 et même 35mm : m. Le système à adopter devra donc comprendre la récupération ; il devra également posséder une grande élasticité, les vitesses de marche devant varier entre 15 et 60 km : h sur les lignes de montagne et entre 15 et 120 km : h sur les lignes à rampe de 10 mm : m et à grands rayons.

4° Systèmes de traction actuellement en service. — Le choix du système de courant n'est pas déterminé, il faut attendre la décision de la Commission chargée de choisir le type de courant à adopter par tous les chemins de fer français, mais il semble cependant qu'on aura recours à un des trois systèmes suivants : triphasé, mono-triphasé ou continu, la tension de distribution variant entre 3 000 et 11 000 volts.

M. Sabouret examine rapidement les avantages et les inconvénients réciproques de ces 3 systèmes.

Courant triphasé. — Le courant triphasé produit automatiquement la récupération. L'Etat italien l'a employé pour toutes les lignes qu'il a électrifiées et a obtenu des résultats très satisfaisants.

On peut cependant faire deux graves objections à l'emploi du triphasé : le double fil aérien crée de grosses sujétions dans l'équipement des grandes gares et la gamme de vitesses dont on dispose est assez restreinte et peut apporter quelque gêne dans l'exploitation d'un ensemble composé de lignes très différentes par leur profil et leur trafic.

Combinaison mono-triphasé. — La ligne d'alimentation est monophasée, un convertisseur tournant transforme sur la locomotive le monophasé en triphasé, On supprime ainsi l'inconvénient du double fil, mais on ne s'affranchit pas du défaut d'élasticité.

Une première application de ce système a été faite sur la ligne houillère à gros trafic et fortes rampes Bluefield-Viviom (W. Virginia, E.-U.) de la Compagnie du Norfolk

Digitized by Google

and Western sur un parcours de 43 km. Le Pennsylvania installe un système semblable sur la ligne d'Altona à Johnstown. Nous décrirons prochainement dans la « R. G. E. » les locomotives employées par le Pennsylvania.

Ces deux applications n'intéressent que des trains lourds remorqués sur fortes rampes à faible vitesse, inférieure à 60 km : h. La ligne étant alimentée en monophasé, on peut employer pour les trains de vitesse des locomotives monophasées, car, comme il a été dit plus haut, la récupération n'est pas intéressante pour ces trains.

Courant continu à haute tension. — Nous avons décrit dans la « R. G. E. » (1) les installations et les locomotives à courant continu 3 000 volts du Chicago-Milwaukee and Saint-Paul Railway. Nous rappellerons seulement que la ligne électrifiée a une longueur de 710 km et que 300 nouveaux kilomètres sont en installation. La ligne est très dure, les courbes nombreuses ont des rayons descendant à 175 m et les rampes très longues sont de 10 et 20 mm : m. Le système comporte la récupération. Les sous-stations sont distantes de 50 km et transforment en courant continu 3 000 volts le courant d'alimentation qui est du triphasé 100 000 volts, 60 p : sec. Les convertisseurs sont des groupes moteurs générateurs. Nous avons décrit dans ces colonnes les locomotives en service, nous décrirons prochainement les 2 nouveaux types de locomotives actuellement en construction.

Les résultats d'exploitation sont excellents et au moins égaux à ceux obtenus avec le monophasé. C'est entre le continu haute tension et le monophasé, peut-être en employant des locomotives à marchandises mono-triphasées, que nous aurons à choisir pour équiper nos chemins de fer français.

Un détail de construction du matériel roulant américain a considérablement hâté l'électrification des grandes lignes de chemins de fer aux Etats-Unis. L'attelage est unifié et prévu pour un effort de traction de 136 tonnes, l'emploi général du frein continu permet de l'utiliser avec un fort coefficient de sécurité; on a pu, grâce à cet attelage, former des trains de 100 wagons contenant chacun une charge utile de 50 tonnes. Pour remorquer de tels trains la locomotive à vapeur devenait insuffisante : on avait atteint la limite extrême dans les dimensions des foyers et le nombre des essieux moteurs; l'électricité au contraire permettait d'établir des locomotives répondant à de telles conditions de service; ce fut la véritable cause de l'extension considérable de l'électrification des chemins de fer aux États-Unis d'Amérique.

Nous pouvons rappeler en passant que l'attelage européen est prévu seulement pour 30 t; on est en train de le renforcer pour lui permettre de supporter un effort de traction de 50 t.

Pour le moment, le type de courant à adopter en France n'est pas encore déterminé, mais il faut qu'il soit le même sur les trois réseaux du P.-L.-M., du Midi et de l'Orléans pour permettre le trafic dans les gares communes.

II. — **Avantages d'exploitation.** — Caractéristiques de la locomotive électrique. — M. Sabouret estime que, quelle que soit la forme de courant adoptée, la locomotive électrique normale des voies ferrées françaises devra avoir un poids adhérent et une puissance correspondant à la résistance de l'attelage européen, le poids total sera compris entre 60 et 90 t. Cette locomotive sera pourvue d'un contrôleur à démarrage automatique, d'un dispositif de récupération et d'un double frein à air, automatique et direct. Plusieurs locomotives attelées ensemble pourront être conduites par un seul agent.

L'auteur estime que la locomotive électrique présente les avantages suivants : A poids égal, la locomotive électrique est plus puissante que la locomotive à vapeur.

A puissance égale en palier, la locomotive électrique offre sur la locomotive à vapeur un triple avantage :

Elle maintient son effort et, par conséquent, la vitesse du train sur tout le parcours des longues rampes, alors que la locomotive à vapeur ralentit par insuffisance de vaporisation.

Elle est plus stable, c'est à-dire moins sujette aux mouvements de lacet et de galop, en grande vitesse.

Elle est plus souple, c'est-à-dire mieux disposée pour s'inscrire dans les courbes raides.

La locomotive permettra donc d'obtenir soit une augmentation de la charge, soit une augmentation de la vitesse en rampe et en courbe.

Trains de voyageurs. — La traction électrique augmentera la charge et la vitesse des express, mais le gain de vitesse qui pourra atteindre 40 à 50 pour 100 à la montée des longues rampes restera inférieur à 20 pour 100 au passage des courbes raides. Ces deux gains d'ailleurs ne se cumuleront pas et s'appliquent à des parties différentes des lignes.

M. Sabouret estime par exemple qu'en remplaçant une locomotive Pacific par deux locomotives électriques, on pourra, entre Limoges et Montauban, conserver aux trains express la charge et la vitesse qu'ils ont lorsqu'ils sont remorqués entre Paris et Limoges par des locomotives à vapeur, bien que la ligne Limoges-Montauban soit beaucoup plus dure que la ligne Paris-Limoges.

L'emploi des trains à unités multiples facilitera l'exploitation et permettra le fractionnement des rames. En diminuant le poids mort et les frais de conduite, on pourra, par ce moyen, augmenter, à dépense égale, le nombre et la vitesse des trains légers.

Trains de marchandises. — La charge des trains de marchandises, n'est pas, comme pour les trains express, limitée par la puissance des locomotives tout au moins sur des rampes de 10 mm, mais par la limite de résistance des attelages. On n'obtiendra pas d'avantage à remplacer en tête du train une locomotive à vapeur par une locomotive électrique.

La seule solution, déjà adoptée depuis longtemps avec la traction à vapeur, consiste dans le poussage en queue. Avant d'examiner comment ce poussage en queue pourra s'effectuer avec des locomotives électriques nous indiquerons, avec M. Sabouret ce qui a été fait jusqu'ici avec la traction à vapeur.

La Compagnie d'Orléans pratique le poussage en queue par locomotive attelée entre Capdenac et Assier sur une ligne comportant une rampe de 12 mm : m, une pente de 12 mm : m et une rampe de 16 mm : m. La vitesse maximum admise était de 25 km : h.

La Compagnie du Nord, obligée en 1918 de détourner sur des lignes à rampes de 13 mm : m, en dents de scie, des trains de houille de 1 500 t qui suivaient jusqu'alors des lignes plates, a employé normalement les trains symétriques et porté leur vitesse à 50 km : h. La machine de queue retient le train dans les descentes au moyen de son frein à air. Les résultats d'exploitation ont été satisfaisants,

(1) Voir : Les Installations électriques du Chicago, Milwaukee and Saint-Paul Railway, *R. G. E.*, 14 avril 1917, t. 1, p. 577 et Les locomotives électriques du Chicago, Milwaukee and Saint-Paul Railway, *R. G. E.*, 2 juin 1917, t. 1, p. 863.

Digitized by Google

et malgré le manque de communication permanente entre les deux machines, on n'a constaté aucun effort anormal excessif dans le train.

M. Sabouret estime que les trains symétriques à vapeur ne sont pas recommandables, sauf dans le cas où le matériel est muni du frein continu, le mécanicien de la locomotive de queue n'étant guidé pour ses manœuvres que par la simple appréciation des réactions d'attelage.

Avec la traction électrique, au contraire, le train symétrique est appelé à rendre de très grands services. On peut, en effet, établir une communication permanente entre les deux locomotives, sans qu'un conducteur spécial soit porté par le train.

Dans le cas du courant de traction continu, M. Parodi, ingénieur chef du Service électrique du Matériel et de la Traction de la Compagnie d'Orléans, a proposé d'utiliser le conducteur de traction pour établir la communication entre la machine de tête et la machine de queue.

Le courant auxiliaire est un courant alternatif de faible intensité émis et reçu par induction. Il peut servir à la transmission de signaux entre les deux mécaniciens et même, par l'emploi de relais appropriés, à commander à distance le contrôleur et le frein à air comprimé de la locomotive de queue.

Un semblable système n'est pas impossible, mais plus délicat à établir lorsque le courant de traction est lui-même alternatif. Il faut, dans tous les cas, que le courant auxiliaire n'atteigne que la locomotive de queue et n'influe pas sur les appareils des locomotives d'autres trains.

On pourrait aussi employer un fil pilote parallèle à la voie, isolé et divisé en sections correspondant aux cantons de circulation. Un frotteur spécial, placé sur chaque machine, établirait la communication entre les deux locomotives par l'intermédiaire de ce fil pilote.

Quand le système de traction est à courant continu ou à courant monophasé direct, l'indépendance complète des deux locomotives est réalisée. M. Sabouret pense que le régime de marche de la locomotive de queue devra être celui du tout ou rien : dans les rampes elle devra pousser le train, dans les pentes le retenir et assurer la récupération, en palier elle sera remorquée comme un simple véhicule. Les manœuvres de la machine de queue commandée par le mécanicien de tête seron très simples : 1° Mise en marche par le poussage à fond d un contrôleur dont le démarrage est réglé automatiquement ; 2° Freinage par le frein à air modérable ; 3° Manœuvres accessoires telles que la marche en récupération dans un cas imprévu, étant donné qu'on a désigné à l'avance les longues rampes où la machine de queue devra récupérer.

La Compagnie d'Orléans a fait d'intéressantes expériences sur la marche des trains symétriques électriques entre Ivry et Juvisy en décembre 1917 et janvier 1918. Ces expériences ont porté sur trois trains de marchandises formés avec du matériel quelconque ; le premier comprenait 50 wagons pesant 685 t et les deux autres 70 wagons pesant 910 t.

Deux locomotives semblables, la E. 10 et la E. 13 attelées l'une en tête, l'autre en queue, ont remorqué ces trains à la vitesse maximum de 46 km : h. La ligne parcourue, longue de 17 km présente des déclivités variant de — 6 mm : m à + 5 mm : m avec 7 points bas. Pendant chaque voyage on a effectué cinq démarrages et cinq arrêts en appliquant toujours à la machine de queue la règle du tout ou rien. Durant le dernier voyage, un wagon dynamomètre fut placé au milieu du train pour enregistrer les variations de la vitesse et celles de l'effort transmis ou reçu par l'attelage.

La communication entre les deux machines se faisait au moyen d'un fil volant et d'une ligne téléphonique. Le courant auxiliaire était du continu 1 ampère, 100 v, ou de l'alternatif 6 v, 300 p : sec.

Le mécanicien de tête en se servant du courant continu commandait, à l'aide d'une seule manette, 2 relais électropneumatiques, placés sur la machine de queue, l'un actionnant le levier de mise en marche, l'autre le frein modérable.

Sur les 15 manœuvres exécutées, 9 l'ont été à l'aide des relais et 6 avec intervention du mécanicien de queue sur envoi de signaux.

Les résultats obtenus ont été très satisfaisants. Le wagon dynamomètre placé au milieu du train a montré que les attelages tantôt tirés tantôt comprimés oscillent lentement sans aller à fond de course. Les arrêts très courts ont été remarquablement doux. Rien ne pourra empêcher, si les besoins s'en font sentir, de placer une troisième machine au milieu du train.

Le train symétrique électrique supprimera la limite de tonnage des trains de marchandises sur lignes accidentées par défaut de résistance des attelages.

M. Sabouret estime a priori que les trains pourront être composés, sans limite de charge, comme il suit :

50 wagons sur les lignes à rampes de 25 à 20 mm : m et rayons de 250 à 200 m ;

60 wagons sur les lignes à rampes de 19 à 11 mm : m et rayons de 450 à 300 m ;

70 et 80 wagons sur les lignes à rampes de 10 à 8 mm : m et rayons de 500 m et plus.

Comme résultats de la traction symétrique, on pourra tripler le débit d'une ligne à voie unique, réduire dans de très fortes proportions le personnel de conduite et de freinage, accroître la sécurité pour les trains non munis du frein continu.

M. Sabouret conclut que l'électrification, complétée par l'emploi des trains symétriques, apportera à la circulation des trains de marchandises des améliorations plus importantes qu'à celle des trains de voyageurs, améliorations qui accroîtront dans une large mesure le rendement des lignes accidentées et reculeront l'obligation de les doubler quand elles sont à voie unique.

Le train symétrique électrique permettra en particulier l'exploitation des tunnels sous-marins ou sous-fluviaux à rampes d'accès de 15 et 20 mm : m au moyen de trains de 70 et 80 wagons.

III. — **Avantages secondaires et inconvénients.** — L'électrification aura pour avantages de réduire l'usure des voies, par suppression du freinage sur les longues pentes et de la fumée dans les tunnels, par réduction du patinage, conséquence de l'augmentation du poids adhérent, par augmentation de la souplesse et de la stabilité des machines.

Pour un même trafic une locomotive électrique peut remplacer au moins deux locomotives à vapeur. On peut diminuer l'importance des dépôts et ateliers, supprimer les distributions d'eau pour machines et les parcs à combustibles.

La suppression du relayage des machines et du remaniement des trains pour changement de charge supprime aussi l'obligation du stationnement des trains de marchandises directs dans les gares de triage. La présence d'une machine à chaque bout du train facilitera l'échange des wagons dans les petites stations.

Le seul inconvénient de l'électrification est que la locomotive électrique ne peut circuler que sur des lignes spécialement équipées et prévues pour un courant de même nature

Digitized by Google

tandis que la locomotive à vapeur peut circuler sur toutes les lignes de même écartement. Les voies ferrées électrifiées sont à cause de la ligne d'alimentation beaucoup plus vulnérables que les lignes ordinaires. Les besoins de la défense nationale empêcheront donc d'électrifier tous les chemins de fer français et nécessiteront la conservation d'un nombre considérable de locomotives à vapeur. On emploiera ces dernières machines sur les lignes plates où leur rendement est très sûr et leur exploitation beaucoup plus économique que celle par traction électrique.

IV. — **Avantages économiques.** — Tout en faisant les réserves nécessitées par les circonstances actuelles, M. Sabouret fait le calcul approximatif de l'économie résultant de l'électrification.

Il suppose que le courant haute tension à l'entrée de la sous-station vaut 3, 4 ou 5 centimes le kilowatt-heure ; il appelle R_3, R_4, R_5 les rendements économiques correspondants, c'est-à-dire le rapport en pour 100 des économies d'exploitation aux dépenses d'établissement. En réalité tous ses calculs ont été faits pour le prix de 4 centimes le kilowatt-heure et il a calculé ensuite les modifications apportées par les prix de 3 et 5 centimes.

De plus M. Sabouret fait l'hypothèse que l'installation est faite en courant continu à 3 000 v et que les prix et économies sont évalués sur la base de ceux de 1913 majorés de 30 pour 100 ; il fait également la remarque suivante : pour une ligne électrifiée donnée le rendement économique croîtra proportionnellement à l'augmentation du trafic. Les quatre lignes dont l'électrification est projetée et pour lesquelles l'étude économique a été faite sont les suivantes.

		Longueur. km	Déclivité caractéristique. mm : m
Brive à Tulle et embranchements ... (Laqueuille au Mont-Dore et Lapeyrouse à Volvic.)		270	25
Périgueux à Gannat.	Périgueux à Limoges.	99	10
	St Sulpice à Gannat..	189	12.5 et 15
Brive à Toulouse par Capdenac.....		250	12,5
Châteauroux à Montauban.	Châteauroux à Limoges	157	6 et excep. 10
	Limoges à Montauban.	272	10

L'estimation des installations fixes, sous-stations, feeders et voies, évaluée aux prix unitaires de 1913 majorés de 30 pour 100, a donné une dépense d'établissement par kilomètre de lignes à double ou simple voie, variant de 74 000 fr (Brive à Clermont) à 85 000 fr (Chateauroux à Montauban).

Pour l'ensemble des 4 lignes, 308 locomotives électriques remplaceraient 360 locomotives à vapeur. Le gain par kilomètre à escompter de ce chef varierait de 15000 fr (Brive à Clermont), à 10 000 fr (Châteauroux à Montauban).

La dépense d'établissement à amortir par kilomètre, varierait finalement de 59 000 fr (Brive à Clermont) à 75 000 fr (Châteauroux à Montauban).

Les courbes de la figure 3 représentent les rendements économiques des 4 lignes types, en fonction du tonnage par kilomètre et de la déclivité caractéristique, pour des prix du courant de 3, 4 et 5 centimes le kilowatt-heure.

Le point de départ de chaque droite correspond au tonnage en 1913.

De ce graphique, M. Sabouret a déduit la formule empirique :

$$R_4 = 0.46\,(i - 5)\,T,$$

donnant le rendement économique R_4 pour un prix du courant de 4 centimes le kw-h, en fonction de la déclivité i en millimètre par mètre et du tonnage annuel T en millions de tonnes.

Le graphique 4 donne la variation du rapport $m = \frac{R_3}{R_4}$ en fonction de la déclivité.

L'examen des graphiques précédents montre que l'abaissement du prix du kilowatt-heure de 4 à 3 centimes, soit 25 pour 100, élève le rendement économique de 11 pour 100

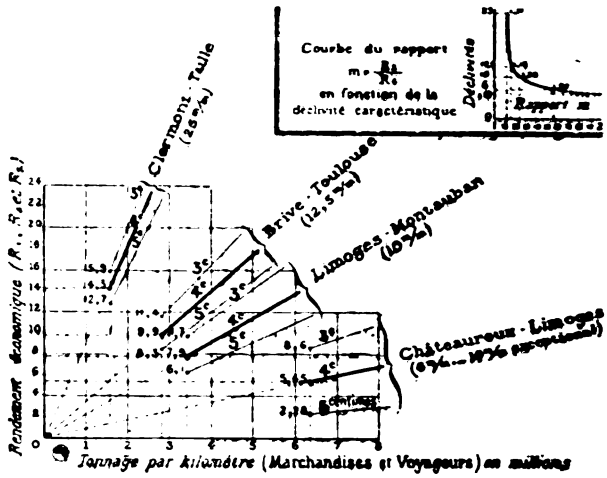


Fig. 3 et 4.

seulement sur Clermont-Tulle (déclivité caractéristique : 25 mm : m et de 5? pour 100 sur Châteauroux-Limoges (déclivité caractéristique : 6 mm : m et exceptionnellement 10 mm : m). Donc l'électrification des lignes à déclivité caractéristique faible n'est économique qu'à la condition d'avoir l'énergie à un prix très bas.

Les compagnies de chemins de fer ont donc intérêt à conserver la traction à vapeur sur les grandes lignes plates et à n'électrifier que les lignes de montagnes. C'est à ce point de vue que s'est placée la Compagnie d'Orléans dans l'établissement de son programme d'électrification qui comprend l'équipement de 3100 km de lignes qu'on peut classer comme il suit en se basant sur leur rendement économique R_4 évalué d'après le trafic de 1913.

	Développement en km	Consommation d'énergie en pour 100 de la consommation totale.
1° Lignes pour lesquelles R_4 est supérieur à 5.....	1 572	61
2° Lignes pour lesquelles R_4 est compris entre 5 et 3.....	1 020	45
3° Lignes pour lesquelles R_4 est plus petit que 3.....	508	4
Totaux...	3 100	100

Pour terminer l'étude des avantages économiques de l'électrification, M. Sabouret évalue qu'un kilowatt-heure remplacerait 2 500 g de charbon sur la ligne de Clermont à Tulle à rampe caractéristique de 25 millimètres par mètre, de 1 600 g sur la ligne de Limoges à Montauban, à rampes

Digitized by Google

de 10 millimètres par mètre, et de 1 100 gr seulement sur la ligne de Châteauroux à Limoges à rampes fréquentes de 6 mm : m avec deux longues rampes exceptionnelles de 10 mm : m. L'équivalence descendrait au-dessous de 1000 g sur la ligne plate de Paris à Bordeaux.

Conclusion. — Comme conclusion, l'électrification n'est intéressante que sur les lignes dont la déclivité caractéristique est au moins égale à 10 millimètres par mètre, et son intérêt est proportionnel au trafic et à la déclivité.

L'électrification améliorera l'exploitation des lignes difficiles en accroissant la vitesse et la charge des trains express et le nombre des trains omnibus.

Grâce au système des trains symétriques étudié par la Compagnie d'Orléans, l'électrification apportera à l'organisation des trains de marchandises les avantages importants qui suivent : elle réduira de plus de moitié le personnel de ces trains, donnera à leur freinage une sécurité au moins égale à celle des meilleurs freins continus, augmentera leur charge et, par suite, la capacité des lignes dans une proportion qui dépassera le triple sur les sections très accidentées à gros trafic comme celle de Clermont à Tulle ; ce dernier résultat aura pour conséquence heureuse de retarder pendant longtemps le doublement de certaines lignes à voie unique.

M. Sabouret termine sa très intéressante étude en signalant que l'électrification projetée des 3 100 km de la Compagnie d'Orléans aura pour conséquence d'affranchir la Compagnie de l'achat annuel de 900 000 tonnes de charbon étranger. Ce résultat qui serait atteint en 1933 suppose un accroissement de trafic annuel de 5 pour 100.

H. C.

La période de transition dans les industries électrochimiques et électrométallurgiques.

La guerre a donné à certaines fabrications des industries électrochimiques et électrométallurgiques un développement qui ne correspond pas à leur consommation normale. Il faudra donc une réadaptation de la production et de la consommation. Ce problème, qui n'est pas particulier à la France, car, dans toutes les nations belligérantes et même chez les neutres, il s'est présenté à l'attention des gouvernants, est des plus difficiles à résoudre. Pour en trouver la solution M. Albin Huart a fait, auprès des industriels du Dauphiné et de la Savoie, une enquête dont les résultats sont publiés dans le numéro du 15 décembre-1er janvier du « Journal de la Houille blanche » ; nous en détachons l'extrait suivant :

Maintenant que les fabrications de guerre s'arrêtent, il va falloir procéder à une rigoureuse revision des possibilités de production et comparer celles-ci avec la facilité d'absorption du marché ; et là s'avère la grosse difficulté, tant la production a été poussée pendant la guerre, hors de proportion avec les besoins normaux.

En voici un exemple : la production du carbure, en ces quatre dernières années, a quadruplé ; or, avant la guerre, elle égalait sensiblement la consommation. Peut on entrevoir dans un délai assez bref une augmentation correspondante des besoins ? Il est certain que non ; par suite, il va falloir, si l'on veut éviter une chute des prix qui frapperait à mort l'industrie du carbure, en l'obligeant à vendre au-dessous du prix de revient, restreindre la production, et la ramener approximativement aux chiffres d'avant-guerre (34000 t pour les usines syndiquées). Il en résultera une large disponibilité de force motrice et l'arrêt d'un grand nombre de fours électriques. Pourra-t-on les mettre sur d'autres fabrications ?

Aussitôt vient à l'idée que le processus de production des ferros étant, à quelques modifications près, identique à celui du carbure, le trop-plein pourrait être reporté sur les alliages. Mais il faut remarquer que l'hypertrophie manifestée pendant la guerre par le carbure s'est produite tout autant pour les alliages métalliques.

On sait que ces deux productions sont sœurs jumelles, qu'elles se sont épaulées mutuellement dans l'avant-guerre, intervenant indifféremment l'une en faveur de l'autre chaque fois que la congestion du marché mettait en péril une des deux fabrications. Ce fut le cas en 1900, où, devant la crise si grave traversée par le carbure, la consommation ne croissant pas aussi rapidement que les moyens productifs, entraînés par une concurrence ruineuse, les électrométallurgistes français donnèrent aux alliages métalliques la place qui leur revenait comme agents modificateurs de la qualité de l'acier.

Sans doute la technique moderne oblige la grosse métallurgie à se servir de plus en plus des ferro-alliages et il y a, de ce côté, des progrès très sensibles à attendre, par rapport aux chiffres de consommation antérieurs à 1914. Pourtant, quelle que soit l'extension à attendre, elle ne pourra permettre le maintien de la production actuelle. Les ferro-alliages ne sauraient, en effet, compter sur les débouchés extérieurs pour pallier à l'insuffisance de la demande intérieure. Déjà fortement handicapés avant la guerre par la concurrence étrangère, nos ferros vont voir se dresser devant eux la production de la Norvège, disposant de chutes à formidable débit et à proximité des ports d'embarquement, toutes conditions abaissant notablement le prix de revient, et celle des pays où la houille blanche est en rapide progrès.

A cet horizon extérieur fermé, s'ajoute le débouché allemand qui n'existe plus, alors qu'avant la guerre les trois-quarts de notre production d'alliages étaient acquis par la métallurgie rhénane. Ce sont là, on l'avouera, plusieurs causes dirimantes à la progression de la production française. Toutefois, nos électrométallurgistes sauront trouver des palliatifs à la crise qui s'annonce. Un des plus compétents, M. G. Widmer, a indiqué au Congrès du Génie civil comment l'industrie des ferros pourra retrouver son salut : par la spécialisation dans la production, par un régime douanier approprié qui pourrait favoriser une relative exportation, et par des approvisionnements en minerais par importation directe. C'est là tout un programme qui nécessitera, pour sa réalisation, un certain temps.

Si le carbure et les ferros vont exiger une période de réadaptation particulièrement pénible, nous craignons fort que les gigantesques installations d'acide nitrique, en partant de la cyanamide, imposées par la guerre pour le chargement des obus, ne puissent en aucun cas trouver une application suffisante dans la vente des produits azotés pour l'agriculture. Certes, nous savons que le rendement plus bas à l'hectare en France qu'en Allemagne tient essentiellement à une moindre consommation d'engrais chimiques. Mais, cependant, l'effort fait pendant la guerre pour pousser toujours plus avant la production de la cyanamide ne peut trouver aucune contre-partie équivalente en agriculture. Il apparaît donc nécessaire que les usines construites dans ce but cherchent une autre direction pour l'emploi de forces hydro-électriques qu'elles ont asservies, et elles pourraient

Digitized by Google

la trouver dans des applications nouvelles de la houille blanche aux métaux les plus divers.

L'industrie de la houille blanche qui paraît devoir s'adapter le plus rapidement et le plus complètement aux conditions de l'après-guerre est celle de l'aluminium. Métal français, se substituant au cuivre, métal d'importation, il a été, depuis la guerre, définitivement classé et on lui a trouvé d'intéressants emplois dans la grosse métallurgie. Sans doute, l'accroissement rapide de production qu'il a connu depuis 1916, proportionnellement au programme toujours plus vaste de l'aviation, nécessite une certaine mise au point pour correspondre aux possibilités d'absorption du marché, mais il est certain que, la période de transition passée, l'aluminium connaîtra à nouveau de rapides progrès, tant ses emplois sont variés. C'est la question des prix qui dominera essentiellement sa progression.

Quant à l'acier électrique, il est assuré de connaître des débouchés sans cesse amplifiés. Peut-être les usines alpines, qui en avaient avant la guerre le monopole, sentiront-elles au début peser un peu lourdement sur le marché, la production de nombreuses aciéries électriques que les grandes firmes métallurgiques ont constituées à côté de leurs hauts fourneaux (principalement dans la région de la Loire), mais la demande d'acier électrique sera rapidement assez dense pour assurer la marche normale et le développement des usines intéressées.

Déjà, avant la guerre, la production mondiale était passée de 94 802 t en 1910 à 160 000 t en 1913. Depuis la guerre, ce tonnage a considérablement augmenté partout. Les usines françaises qui ont été les initiatrices et qui sont classées au premier rang profiteront largement du mouvement d'expansion qui continuera dès la reprise de la vie normale.

Ainsi, la période de transition dans les industries de la houille blanche ne paraît pas devoir affecter sérieusement l'aluminium et l'acier électrique; par contre, une laborieuse réadaptation des usines à carbure et à ferro-alliages paraît inévitable, tandis que les usines à cyanamide devront changer radicalement d'affectation.

Ce qui, en tous cas, permettra à toutes ces industries une évolution exempte d'à-coups et de surprises, c'est l'entente entre les producteurs, le syndicat de répartition des commandes par détermination des quantums individuels, le comptoir de vente qui unifie les conditions, les prix et la qualité du produit. De telles ententes, qui existent et qui doivent être maintenues comme base primaire de l'essor industriel, ont déjà haussé les produits de la houille blanche, au cours des crises de surproduction, car c'est par le réajustement de la production aux facultés de consommation que les prix peuvent être maintenus à des taux suffisamment rémunérateurs.

Ce qui s'impose également, c'est la recherche constante de nouvelles applications industrielles de la force motrice hydro-électrique. Dans un récent rapport au Comité d'Action économique de la Savoie, j'ai insisté sur ce point, en faisant remarquer que sur les 300 000 ch aménagés dans le département, 100 000 environ allaient se trouver inemployés, par suite des restrictions apportées aux productions de guerre.

Ces chevaux inutilisés, il importe de leur trouver une affectation, c'est dans la voie d'une plus large utilisation des minerais du sous-sol alpin et pyrénéen qu'il faut chercher.

La mine de fer spathique de la Taillat alimente les hauts fourneaux d'Allevard (Isère), la remise en exploitation des mines de fer de Saint-Georges d'Hurtières (Savoie), donnant du carbonate de fer très riche en manganèse et exempt d'impuretés, a permis, depuis la guerre, à la Société des Fonderies et Aciéries électriques de faire, par transformation directe de ce minerai, des aciers de qualité supérieure. De même, l'électrométallurgie du zinc utilise en Savoie, comme matière première, les minerais de la Maurienne, minerais pauvres que seul le four électrique peut traiter. La même tendance existe dans les Pyrénées, où les gisements de manganèse sont traités par la voie électrique et donnent des « silico-manganèse » employés à la fabrication des aciers.

Il est certain qu'un gros effort doit être fait pour l'utilisation sur place des minerais alpins et pyrénéens, et ce serait un emploi intéressant de la force motrice devenue disponible, en attendant que le complet outillage de nos réserves de houille blanche nous permette l'électrification des chemins de fer, dans des régions où le tourisme est intense.

Notes pratiques

Un anémomètre électrique facile à construire. — Un de nos lecteurs nous communique la description suivante d'un anémomètre qu'il a eu l'occasion de construire au front avec un matériel assez simple.

Cet appareil est un pont de Wheatstone ordinaire dont deux bras sont constitués par des résistances présentant un assez grand coefficient de température, les deux autres sont fixes et ne servent qu'à assurer l'équilibre en temps normal.

L'ensemble est parcouru par un courant assez intense pour échauffer les résistances à grand coefficient de température qui seront portées au rouge sombre par exemple. Si l'équilibre du pont est établi à ce moment, il suffit de souffler sur une des résistances portées au rouge pour voir le galvanomètre accuser une déviation d'autant plus grande que l'on souffle plus fort.

En soufflant, on refroidit en effet la résistance, sa valeur diminue aussitôt, l'autre étant hors du courant d'air ne change pas, l'équilibre du pont se trouve détruit et le galvanomètre, en l'espèce un milli-ampèremètre, accuse une déviation qui est fonction de la valeur de la vitesse du courant d'air refroidissant.

Pratiquement notre lecteur a constitué les deux bras à résistance variable par deux fils de platine de 0,01 mm de diamètre (fils de détecteur électrolytique par exemple) et de 20 cm de longueur. L'un d'eux est enfermé dans un tube de verre pour être soustrait à l'action du vent, l'autre est laissé en spirale à l'air libre. Ces deux résistances formant deux des bras du pont sont placées à l'extérieur, à un endroit assez haut pour que le vent agisse seul et non les tourbillons, un milli-ampèremètre sert de galvanomètre. La source de courant est une batterie d'éclairage de voiture dont on règle une fois pour toutes le courant de débit sur le pont à l'aide d'un rhéostat.

Une table de correspondance permet de passer des indications du milli-ampèremètre aux vitesses de vent évaluées en mètres par seconde. Il est toutefois nécessaire d'avoir un voltmètre sur la batterie et d'introduire une correction si la tension de la batterie s'écarte quelque peu de la valeur normale. En temps plat l'aiguille du milli-ampéremètre reste au zéro mais au moindre souffle d'air on la voit dévier et suivre toutes les fluctuations de la vitesse du vent.

Cet appareil simple et facile à construire pourra rendre des services dans bien des observatoires. A. S.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Revues, analyses et informations

L'organisation administrative du travail aux Etats-Unis pendant la guerre.

Dans notre numéro du 15 février, nous avons publié pages 275-276, un extrait d'un article intitulé « Le travail américain pendant la guerre », où l'auteur, M. Cestre, insistait sur le loyalisme dont l'ouvrier américain avait fait preuve pendant la guerre. Antérieurement M. Cestre avait publié un autre article (1) dans lequel il s'attachait à montrer que ce loyalisme s'expliquait par l'attitude bienveillante et même généreuse du Gouvernement à l'égard des travailleurs. La lecture de cet article apporte quelques renseignements complémentaires à la question des relations entre le Travail et le Capital aux Etats-Unis sur laquelle la « R. G. E. » a publié une étude dans son numéro du 11 mai 1918, t. III, p. 705-707; on en trouvera ci-dessous un extrait.

« I. — Le parti démocrate qui est au pouvoir, et le président Wilson, son chef, avaient donné, dès avant la guerre, des preuves significatives de leur conviction que la véritable démocratie ne doit pas s'arrêter au libéralisme, ni même au radicalisme politique, mais doit s'appliquer à l'émancipation économique et morale de la classe ouvrière. De même que la guerre est pour le peuple américain une occasion d'effectuer son unification nationale, par l'assimilation des allogènes, elle est aussi pour le gouvernement américain l'occasion de réaliser, dans la mesure où s'y prêtent les lenteurs de l'évolution sociale, une avance vers l'unification des classes. En temps de guerre, les résistances opposées par les traditions, les préjugés et les intérêts sont moins fortes. Il était possible de faire faire un pas au progrès social dans le sens du bien-être, de l'égalité, de la dignité individuelle : le gouvernement de Wilson, ouvert à l'idéalisme social non moins qu'à l'idéalisme moral et pacifique, n'y a pas manqué. Les mesures prises marquent, en même temps que de la largeur d'idées et de doctrine, de la méthode, de la persévérance, et un génie d'organisation qui ne se montre en rien inférieur au réalisme pratique si vanté des Allemands. Les ouvriers ont été protégés contentés, partout où la justice et le libéralisme social le suggéraient; disciplinés, lorsque la saine appréciation des circonstances l'exigeait. Le résultat en a été la paix sociale et une progression sans cesse accrue de la production.

« II. — Le système fédératif des Etats-Unis laisse la législation du Travail à chaque Etat particulier. Mais, en temps de guerre, des mesures d'urgence s'imposaient : le gouvernement de Washington a saisi cette chance d'amorcer une réforme centralisatrice qui, sans aucun doute, continuera à porter ses fruits en temps de paix. L'Etat a créé des industries de guerre (en particulier l'immense industrie nouvelle des chantiers de navires); il passe avec les industriels ou les syndicats de manufacturiers des contrats portant sur des sommes immenses, qui lui donnent le droit d'imposer ses conditions. Enfin la raison suprême de la défense nationale lui permet d'intervenir chaque fois qu'un conflit industriel menace de retarder la poursuite ardente et accélérée de la préparation militaire.

Après quelques tâtonnements, le gouvernement s'est arrêté à une organisation administrative centralisée qui mérite d'être méditée à l'étranger pour sa belle économie, son efficacité et ses promesses d'avenir. Il existait un ministère du Travail. Mais un ministère, si compétent et capable qu'il soit, est-il en position de faire face, avec ses seules lumières ou celles de ses fonctionnaires, à l'organisation nationale de la production dans un pays immense, en temps de crise, et sous la pression de nécessités qui ne peuvent se différer? On ne l'a pas cru en Amérique. On a décidé d'avoir recours au grand moyen d'information en matière d'économie sociale : la consultation des intéressés. Les intéressés étaient les employeurs, les employés, et en troisième lieu le public, pour qui toute application du socialisme d'Etat se traduit en fin de compte par l'augmentation des impôts et le renchérissement des prix. Les « combinaisons » (ou fédérations de syndicats) du Travail et du Capital fournirent la représentation des employeurs et des employés. Le public fut représenté par des professeurs d'économie politique et, dans le cas de l'un d'eux, par un économiste qui fut un homme d'Etat, l'ex-président Taft (ainsi, en Amérique, l'Université est considérée comme une des forces actives de la nation, réservoir de gouvernants, de hauts conseillers, ou de hauts administrateurs).

Ainsi fut composé un Comité consultatif, qui conseilla la création de sept directions au ministère du Travail, pour la réorganisation et la conduite permanente de la production nationale, à savoir : divisions de l'arbitrage des conflits, du logement et du transport ouvriers, des salaires, de l'éducation de la classe ouvrière, de la main-d'œuvre féminine, de l'adaptation professionnelle, enfin du placement ouvrier. Quelques-unes de ces activités nous sont familières; d'autres nous surprennent par leur nouveauté. J'y insiste.

Le trait essentiel de l'industrie américaine, la concentration, s'est accentué pendant la guerre. Certaines concentrations, comme celle des nouveaux chantiers de navires construits par l'Etat, se sont faites dans des lieux où, il y a un an, ne se voyaient que des landes et des marécages. Il a fallu tantôt créer des voies de communication nouvelles, chemins de fer ou tramways, pour conduire les ouvriers du centre urbain le plus voisin aux chantiers, tantôt élever de

(1) C. CESTRE : En Amérique : la guerre moyen de progrès social. *L'Ecole et la Vie*, 14 décembre 1918, p. 203-206.

Digitized by Google

véritables cités de trente ou quarante mille âmes là où s'étendait un désert. Le Congrès vota 250 millions de francs pour ces constructions et le bien-être essentiel de l'ouvrier en même temps que les besoins impérieux du travail, en quelques mois, furent assurés. Certains détails montrent combien les gouvernants actuels de l'Amérique se sont pénétrés des principes de la justice sociale, sous la protection de l'Etat : là où il était possible d'utiliser des logements déjà existants, le ministère pratiqua la réquisition et imposa des prix équitables, veillant même (trait bien américain) à ce que les familles ouvrières pussent avoir la distribution d'eau chaude à bon marché.

L'Amérique est bien résolue à ce que la guerre, cette catastrophe, ne traverse pas notre époque en n'y laissant que l'appauvrissement matériel et moral. Elle veut contraindre le cataclysme à produire des résultats satisfaisants. Aussi a-t-elle voulu se servir de la centralisation étatiste pour faire l'éducation des ouvriers. Dans l'agitation ouvrière, il y a une part d'ignorance, de préjugé ou d'entraînement collectif. Les meneurs (qui agissent à leur manière sur l'esprit des ouvriers) ne représentent pas toujours des forces saines et justifiables. Pourquoi, après avoir gagné la confiance des ouvriers, ne chercherait-on pas à les instruire, par exemple sur le développement nécessaire du machinisme, sur les résultats bienfaisants des progrès de la technique (système Taylor), sur les conditions de la division du travail et de la spécialisation, sur la bonne volonté mutuelle de réajustement que doivent montrer, chacun de leur côté, le Travail et le Capital pour arriver à une coopération féconde, etc.? Combien il est intéressant de voir ainsi une administration d'Etat, s'arrachant à la routine et à la stagnation, non seulement pour intervenir dans les conflits économiques, mais pour les prévenir en allant à la racine de ces conflits, c'est-à-dire aux idées et aux sentiments! N'est-ce pas la vraie pratique démocratique — mille fois supérieure à la théorie — que de considérer les ouvriers comme des êtres pensants et sentants et non pas, à la manière boche, comme un « matériel » humain? L'éducation sous toutes ses formes, est la préoccupation dominante de l'Amérique. Nous la voyons intervenir ici dans l'effort de rénovation sociale, où il ne s'agit pas seulement de statistiques, de chiffres et de lois mécaniques de l'offre et de la demande, mais de valeurs psychologiques. La guerre sert ainsi à mettre en relief le côté hautement humain de la civilisation du Nouveau Monde.

Ainsi constituées et éclairées par une doctrine généreuse, les nouvelles directions se sont mises à l'œuvre. Depuis la période de hauts salaires, l'ouvrier américain avait pris l'habitude nomade de se transporter, souvent à des distances considérables, là où on lui offrait la paye la plus élevée. L'administration s'appliqua à obtenir l'unification du taux des salaires dans les mêmes industries sur toute la surface de l'immense pays. En même temps, elle stabilisait l'ouvrier en lui offrant une habitation confortable et riante. Elle entreprenait aussi de l'instruire dans une nouvelle technique, lorsque la demande faiblissait dans une spécialité et, par contre, augmentait dans une autre. Ce fut la tâche du Bureau de l'adaptation professionnelle, rendue nécessaire par le transfert de nombreux ouvriers d'industries non essentielles aux industries de guerre.

III. — J'ai dit que l'administration ne perdait pas de vue l'élément fondamental de la discipline nationale et sociale : c'est, pourrait-on dire, la forme drastique de l'éducation. Dans les Etats du Nord-Ouest, l'organisation anarchiste connue sous la rubrique I. W. W. (International Workers of the World) faisait de fort dangereuse besogne parmi les forestiers et la construction des navires de bois s'en trouvait retardée. Les meneurs de I. W. W, pris en flagrant délit de propagande anarchiste et de sabotage, furent arrêtés et mis hors d'état de nuire. Mais, à l'intervention négative s'ajouta l'intervention positive : une « Ligue de forestiers loyalistes » fut encouragée et, bientôt, le travail reprenait dans des conditions normales. L'obstacle psychologique (excitation antisociale et ténébreuses manœuvres internationalistes) était écarté et les ouvriers, avec le calme d'esprit, apprenaient à apprécier l'avantage matériel de salaires élevés et l'avantage moral de la bonne entente avec une direction bienveillante et humaine.

Une grève menaça d'éclater, en septembre 1918, à Bridgeport, dans une usine de munitions, où les ouvriers refusaient d'accepter la décision de la commission d'arbitrage du Bureau national du Travail. Le président Wilson leur adressa une lettre signée de son nom dans laquelle, après leur avoir rappelé les mesures libérales édictées en justice pour les ouvriers, il les prévint que la résistance au Bureau national était « une déloyauté et un déshonneur »; que, s'ils persistaient, le gouvernement prendrait en main l'usine, se verrait obligé de les renvoyer; et, de ce moment, cesserait pour eux le privilège qui les affectait à la production industrielle de la guerre au lieu d'un poste de combattant dans une unité du front.

C'était, en termes courtois, les menacer de la mobilisation comme soldats. C'était entreprendre leur éducation disciplinaire dans l'ordre du patriotisme et de la probité collective.

A la même date, un établissement industriel de Springfield faisait des difficultés pour accepter la médiation du Bureau national dans une contestation avec ses ouvriers. Le président envoya une mise en demeure, sous peine de voir l'usine passer sous l'administration directe de l'Etat.

IV. — Ainsi, pendant la guerre, le gouvernement américain est entré résolument dans la voie d'un socialisme d'Etat inspiré d'un grand sentiment de justice à l'égard du monde ouvrier et de principes hardis de progrès social. Dans le même ordre d'idées, il a essayé (sans y réussir encore) de « fédéraliser » la législation du Travail : la mesure est en marche. Il a brisé, sans violence mais avec fermeté, les résistances patronales à l'admission des syndicalistes dans les usines et maintenu le droit de propagande syndicaliste revendiqué par les ouvriers. L'économie industrielle de l'Amérique progresse ainsi à grands pas vers l'organisation juste et rationnelle sous le contrôle de la haute autorité morale de l'Etat éducateur, législateur et arbitre.

Les ouvriers américains ne se sont pas montrés indignes de la confiance qu'on leur a faite, ni insensibles aux avantages qu'on leur a assurés. Ils ont répondu non seulement par un labeur plus intense, mais par une ardeur patriotique qui contribue à maintenir aux Etats-Unis le magnifique moral du pays.

Digitized by Google

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Loi relative à la corruption des fonctionnaires publics et des employés des entreprises privées.

Le « Journal officiel » du 18 février 1919 publie, p. 1814, la loi suivante ayant pour but « la répression des rémunérations occultes offertes ou versées aux employés des maisons de commerce et des entreprises industrielles ou sollicitées par eux et à l'aggravation des peines frappant les personnes qui ont corrompu ou tenté de corrompre les fonctionnaires ».

Le Sénat et la Chambre des députés ont adopté,

Le Président de la République promulgue la loi dont la teneur suit :

ARTICLE PREMIER. — L'article 177 du code pénal est complété par la disposition suivante, qui prendra place après le paragraphe 5 :

« Sera puni d'un emprisonnement de un à trois ans (1 à 3 ans) et d'une amende de cinq cents à trois mille francs (500 à 3 000 fr) ou de l'une de ces deux peines seulement, tout commis, employé ou préposé, salarié ou rémunéré sous une forme quelconque d'un commerçant ou d'un industriel qui aura, soit directement, soit par personne interposée, à l'insu et sans le consentement de son patron, soit sollicité ou agréé des offres ou promesses, soit sollicité ou reçu des dons, présents, commissions, escomptes ou primes pour faire un acte de son emploi ou s'abstenir de faire un acte que son devoir lui commandait de faire. »

ART. 2. — L'article 179 du code pénal est complété par la disposition suivante qui prendra place après le paragraphe 2 :

« Quiconque aura corrompu ou tenté de corrompre, que la tentative ait été ou non suivie d'effet, par promesses, offres, dons, présents, commissions, escomptes ou primes, tout commis, employé, préposé, rémunéré ou salarié sous une forme quelconque d'un commerçant ou d'un industriel, pour obtenir qu'il accomplisse un acte de son emploi ou qu'il s'abstienne d'un acte qui entrait dans l'exercice de ses devoirs, sera puni d'un emprisonnement de un an à trois ans (1 an à 3 ans) et d'une amende de trois mille à dix mille francs (3 000 à 10 000 fr), ou de l'une de ces deux peines seulement

» Les coupables seront passibles, en outre, de la peine prévue par le dernier paragraphe de l'article 177 du code pénal. »

ART. 3. — Le paragraphe premier de l'article 179 du code pénal est ainsi complété :

» Toutefois, la peine d'emprisonnement prévue par l'article du code pénal devra toujours être prononcée et le minimum de l'amende sera de trois mille francs (3 000 fr). »

Le paragraphe 2 de l'article 179 du code pénal est abrogé et remplacé par la disposition suivante :

» Les tentatives de contrainte et de corruption prévues au précédent paragraphe seront punies des peines qui y sont portées, qu'elles aient été ou non suivies d'effet. »

ART. 4. — Le titre du paragraphe 4 du titre 1er du livre III du code pénal est modifié ainsi qu'il suit :

« De la corruption des fonctionnaires publics et des employés des entreprises privées. »

La présente loi, délibérée et adoptée par le Sénat et par la Chambre des députés, sera exécutée comme loi de l'État.

Décret déterminant les attributions et le fonctionnement de l'Office du Travail.

Voici le texte d'une partie de ce décret en date du 24 février, signé du Ministre du Travail et de la Prévoyance sociale et du Ministre des Finances et publié dans le « Journal Officiel » du 27 février, p. 2244-2245 :

Le Président de la République française,

Sur le rapport du Ministre du Travail et de la Prévoyance sociale et du Ministre des Finances,

Vu la loi du 20 juillet 1891, créant un Office du Travail;

Vu la loi du 17 décembre 1918, concernant l'ouverture et l'annulation de crédits au titre du budget ordinaire de l'exercice 1918;

Vu le décret du 19 août 1891, organisant l'Office du Travail, modifié par les décrets des 4 février 1892, 13 juin 1894, 6 juin 1897, 25 janvier 1906 et 26 février 1909;

Vu le décret du 25 octobre 1906, créant le Ministère du Travail et de la Prévoyance sociale;

Vu le décret du 20 juin 1907, modifié par les décrets des 28 juin 1912, 30 mars 1915, 21 novembre 1916 et 19 février 1918, portant règlement de l'administration centrale du Ministère du Travail et de la Prévoyance sociale;

Le conseil d'Etat entendu,

Décrète :

ARTICLE PREMIER. — L'Office du Travail a pour mission de recueillir et de coordonner toutes informations relatives au travail, notamment en ce qui concerne l'état et le développement de la production, l'organisation et la rémunération du travail, ses rapports avec le capital, la condition des ouvriers, la situation comparée du travail en France et à l'étranger.

ART. 2. — L'Office du Travail est rattaché à la direction du travail, au Ministère du Travail et de la Prévoyance sociale.

ART. 3. — Le personnel du service extérieur de l'Office du Travail se compose d'enquêteurs permanents, d'enquêteurs temporaires stagiaires et de chargés de missions.

ART. 4. — Le nombre des enquêteurs permanents ne peut être supérieur à quatre. Ils sont nommés par le ministre et pris parmi les enquêteurs temporaires stagiaires ayant occupé leurs fonctions pendant trois années consécutives.

Le reste de l'article 4 et les articles suivants sont relatifs aux règles concernant le recrutement et la discipline du personnel.

Le nouveau régime pour l'obtention soit en France, soit à l'étranger de marchandises désignées.

Depuis le 22 décembre 1918 (voir *Journal officiel* du 25 décembre 1918, p. 11123), les régimes de la vente et du commerce et de l'importation de certaines matières premières en objets manufacturés ont été modifiés comme il est indiqué dans le tableau suivant, afin de favoriser la reprise de l'activité industrielle et commerciale en France.

Digitized by Google

NATURE DES MARCHANDISES	RÉGIME DE LA VENTE ET DU COMMERCE en France.	RÉGIME DE L'IMPORTATION
Aciers rapides	Vente et commerce libres	Importation contrôlée.
Fil dur	Id.	Id.
Cordes à piano	Id.	Id.
Aciers Stubb	Id.	Id.
Produits tréfilésr	Id.	Importation contrôlée. Reste provisoirement centralisée par le comptoir d'achat des tréfileurs.
Produits étirés	Id.	Importation contrôlée.
Aciers étirés	Id.	Id.
Tubes	Id.	Id.
Boulonnerie	Id.	Id.
Cuivre et produits cuivreux	Id.	Id.
Zinc	Id.	Id.
Plomb	Id.	Id.
Aluminium	Id.	Id.
Etain	Id.	Importation contrôlée. Contingent fixé par le comité interallié et réparti par le ministère de la reconstitution.
Nickel	Id.	Importation contrôlée.
Antimoine	Id.	Id.
Cadmium	Id.	L'importation va être rendue libre.
Bismuth	Id.	Id
Cobalt	Id.	Importation contrôlée.
Carbure de calcium	Id.	Id.
Minerai de wolfram	Id.	Id.
de molybdène	Id.	Id.
de chrome	Id.	Id.
de manganèse	Id.	Id.
de fer	Id.	L'importation va être rendue libre.
Autres minerais	Id.	Id.
Bioxyde de baryum	Id.	Id.
Amiante	Id.	Importation contrôlée et centralisée, en ce qui concerne le Canada, par le comptoir des importateurs d'amiante
Produits résineux	Id.	Importation contrôlée.
Machines-outils et outillage	Id.	Importation contrôlée par autorisations individuelles.
Matériel électrique	Id.	Importation contrôlée.
Générateurs de force motrice	Id.	Id.
Appareillage électrique	Id.	Id.
Lampes électriques	Id.	Id.
Roulements à billes	Id.	Id.
Fers et aciers	La production des usines françaises est libre : des prix maxima de vente seront provisoirement fixés.	Importation contrôlée Reste provisoirement centralisée par le comptoir d'exportation des produits métallurgiques jusqu'à liquidation des stocks (décis. du 31 août 1917 et 18 mars 1918)
Fers-blancs	Provisoirement, et jusqu'à liquidation des stocks, le comptoir d'exportation des produits métallurgiques (C.E.P.M.) reste chargé de la vente. Les bons commis sur lui sont soumis au seul visa du service de la direction des matières premières, 59, rue Pierre-Charron.	Importation contrôlée. Reste provisoirement centralisée jusqu'à liquidation des stocks.
Fontes	Vente et commerce libres. Les fonderies recevront du comptoir de répartition des fontes un quantum fixé par le ministre, d'après la production de chaque fonderie et les disponibilités totales. Les prix de péréquation sont arrêtés par le ministre	L'importation reste provisoirement centralisée au comptoir de répartition des fontes.
Caoutchouc et produits manufacturés en caoutchouc.	Commerce et vente libres, sauf pour les bandages et pneumatiques, qui restent provisoirement soumis à l'autorisation du service du matériel et des fabrications automobiles.	L'importation reste provisoirement contrôlée.
Produits céramiques et réfractaires	Vente et commerce libres. Les mesures nécessaires seront prises pour assurer les priorités indispensables à la reconstitution.	Importation contrôlée.
Verrerie	Etant donnés les besoins énormes de la reconstitution, le contrôle de la fabrication et de la vente (sauf pour les ventes de détail) est maintenu. Les commandes passeront par le consortium de la verrerie. Elles seront adressées directement au consortium, 132, faubourg Saint-Denis.	Importation provisoirement contrôlée et assurée par le consortium de la verrerie.
Bois	Vente et commerce libres. Les mesures nécessaires seront prises pour assurer les priorités indispensables à la reconstitution.	Importation contrôlée.
Chaux et ciments	Id.	Id.
Machines textiles	Les fabrications restent provisoirement contrôlées par suite des besoins de la reconstitution. Le visa du bureau des machines textiles de la direction des matières premières suffit.	Id.
Automobiles	Le contrôle de la fabrication française et le visa des commandes restent provisoirement maintenus.	Importation contrôlée. Reste momentanément prohibée.

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF :
Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 12. — 22 MARS 1919.

Chronique. — La Commission électrotechnique internationale. — Sur le « vieillissement » des isolateurs. — Légion d'Honneur. — Bibliographie : Sur les données actuelles en matière de construction d'usines hydro-électriques, par Denis EYDOUX ; Le système Taylor, par C. BERTRAND THOMPSON ; La Vie Automobile, p. 433-434.

Section scientifique et technique. — Le principe de relativité, par J.-B. POMEY, p. 435. — Note sur le calcul des coefficients de la série de Fourier, par Louis PUGET, p. 439. — Revues, analyses et informations : La détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur, par Sadi-Carnot, p. 442 ; La conservation de l'électricité et la théorie électrique, p. 443.

Section industrielle. — Transmission d'énergie électrique de Bourges à l'arsenal américain de Beauvoir, par Michel BERTHOD, p. 445. — Revues, analyses et informations : Méthode pour l'essai des transformateurs, p. 449 ; Fonctionnement des moteurs à induction polyphasés, p. 451 ; Spécifications-types pour lampes à incandescence électriques (tungstène et carbone), p. 454 ; Four Davis à cuire les électrodes, p. 458.

Section économique et financière. — Assemblées générales : L'Oxhydrique française, p. 459 ; Compagnie générale française et continentale d'éclairage, p. 459 ; Compagnie anonyme continentale pour la fabrication des compteurs à gaz et autres appareils, p. 460.

Section de législation. — Les intérêts des effets moratoires. Arrêt de la Cour de Cassation, 7 janvier 1919, Lehideux et Cie contre Blum et Lévy, par Paul BOUGAULT, p. 461. — Législation, jurisprudence, réglementation : Instructions sur le mode d'application du décret du 21 novembre 1916 à partir du 1er février 1919, p. 464 ; Décret réglementant l'usage des appareils à vapeur, p. 464.

La Commission électrotechnique internationale. — Une note du Bureau central de la Commission électrotechnique internationale, qui vient d'être communiquée à la presse anglaise, fait ressortir la nécessité de tenir à bref délai une réunion plénière où seraient examinées la réorgatisation complète de la Commission ainsi que la question des relations de la Commission avec les Comités électrotechniques nationaux des pays ennemis.

En ce qui concerne les spécifications relatives à la machinerie électrique, la note constate que, durant la guerre, le Comité américain d'une part, le Comité britannique d'autre par, tont publié des règlements admettant des échauffements dépassant légèrement les limites précédemment adoptées par la Commission internationale et que le Comité français s'est ému de cette transgression des règles internationales. Elle ajoute que, comme nous l'annoncions dans le numéro du 1er mars, le Comité des spécifications se réunira à Paris au cours de cet été en vue d'examiner la question avec les délégués du Comité français et que des démarches ont été faites auprès des Comités nationaux de Belgique, France, Grande-Bretagne, Italie, Suède, Suisse et des Etats-Unis afin qu'ils soient représentés à cette réunion ; à la suite de cette réunion le Comité des spécifications formulera des propositions qui seront soumises à la réunion plénière de la Commission.

Parmi les autres questions dont aura à s'occuper la Commission dans cette réunion plénière se trouve celle des symboles graphiques des appareils électriques. Cette question a été l'objet de travaux aux Etats-Unis, en Grande-Bretagne, en Italie, de sorte que le Comité spécial des symboles possède dès maintenant des bases sérieuses à discussion. Il est probable que la Commission s'occupera aussi de la définition d'un étalon international de résistance pour l'aluminium, et sur la suggestion du Comité français, de l'unification des douilles et culots de lampes à incandescence.

Sur le « vieillissement » des isolateurs. — Dans ces deux dernières années il a été beaucoup question aux Etats-Unis d'une cause de rupture intempestive des isolateurs à haute tension à laquelle les ingénieurs américains ont donné le nom de « vieillissement » et dont les conséquences ont été si importantes qu'un ingénieur européen envoyé en mission aux Etats-Unis en 1917 employait l'expression de « crise des isolateurs » pour indiquer leur gravité (1).

(1) G. CAPART. Notes d'un voyage aux États-Unis ; *R. G. E.* 15 déc. 1917, t. II, p. 949-951.

Digitized by Google

Justement émues par la crainte que les ruptures constatées sur les isolateurs des réseaux américains ne se manifestent aussi sur les isolateurs des réseaux français, la Chambre syndicale de la Porcelaine électrotechnique d'une part, l'Union des Syndicats de l'Electricité d'autre part, se sont préoccupées de la question.

La lettre que nous adressait il y a un peu plus d'un an M. P. Sailly, président de la Chambre syndicale de la Porcelaine électrotechnique et qui a été reproduite dans ces colonnes (1) était fort heureusement de nature à calmer les légitimes appréhensions de nos distributeurs ; il en résultait en effet que les isolateurs de construction française n'avaient pas jusque là présenté de rupture anormale par « vieillissement ». Une enquête faite depuis auprès des exploitants de réseaux a confirmé cette assertion.

Il restait toutefois à trouver la raison du « vieillissement » des isolateurs américains. C'est ce qu'est parvenu à faire l'une des sous-commissions de la 14e Commission de l'Union des Syndicats de l'Electricité, comme l'indique la note suivante que nous communique M. P. Sailly président de cette sous-commission.

« Le vieillissement des isolateurs suspendus du type américain et de fabrication américaine ou allemande réside dans la production d'une fente ou d'une piqûre survenant sans cause apparente au bout de quelques années d'existence en ligne ou en magasin. Cet accident dans lequel l'électricité ne joue aucun rôle prédominant est la conséquence de la forme défectueuse de l'isolateur mal appropriée à un façonnage rationel de la matière isolante employée.

» Le vieillissement ne se révèle pas dans les premières années de l'exploitation parce que l'élasticité de l'isolant le masque jusqu'au jour où, par suite de l'action des agents extérieurs, température, choc, etc., la limite de l'élasticité de l'isolant est dépassée.

» Les inconvénients dus au vieillissement peuvent être diminués dans les lignes électriques par le choix d'une forme d'isolateur appropriée aux nécessités de l'emploi de la matière première et par les soins apportés par les fabricants d'isolateurs à sa fabrication. »

Légion d'Honneur. — M. E. Fontaine, capitaine d'artillerie à la direction des Forges a été promu chevalier de la Légion d'Honneur à titre militaire pour prendre rang du 21 mai 1918.

M. E. Fontaine est secrétaire général du Syndicat des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, secrétaire de l'Union des Syndicats de l'Electricité, administrateur et membre du comité de Rédaction de la « R. G. E. » Nous sommes heureux de pouvoir lui adresser nos plus sincères félicitations.

Bibliographie : Sur les données actuelles en matière de construction d'usines hydro-électriques, par Denis Eydoux, ingénieur des Ponts et Chaussées, ingénieur principal de la voie, chargé du Service des études et travaux des usines hydrauliques à la Compagnie des Chemins de fer du Midi (1). Dans cette étude, précédemment parue dans les « Annales des Ponts et Chaussées », l'auteur s'est donné pour but de mettre le lecteur rapidement au courant de l'état actuel de la technique de l'aménagement des forces motrices hyrauliques en vue de la production de l'énergie électrique. Il y est parvenu d'autant mieux que les travaux qu'il dirige depuis plusieurs années lui ont donné une compétence toute particulière en la matière.

Dans le premier chapitre, consacré à des considérations générales, l'auteur insiste, ainsi qu'il l'a fait dans divers articles publiés dans cette Revue, sur la nécessité d'un plan d'ensemble dans les projets d'utilisation des chutes d'une vallée. Dans les suivants, il envisage les barrages, prises d'eau, canaux d'amenée, chambres de mise en charge, conduites forcées et à propos de ces dernières, il expose sommairement les résultats qu'ont fourni les remarquables travaux de MM. Alliévi, Rateau, de Sparre, Camichel, Gariel et lui-même sur les coups de bélier. Les chapitres V et VI contiennent quelques remarques sur les usines de basse chute et sur les usines de haute chute; le suivant traite des turbines hydrauliques et de leurs accessoires ; le chapitre VIII et dernier de l'équipement électrique des usines.

En terminant, M. Eydoux fait justement observer que la technique de l'utilisation des chutes d'eau se transforme chaque jour et qu'une usine datant seulement de quelques années ne peut être considérée comme un modèle à suivre dans l'avenir : tout ce qu'on peut déduire de la considération d'une telle usine, ce sont des enseignements sur les fautes qu'il faut éviter.

Il résulte de cette observation que le livre de M. Eydoux est destiné à vieillir vite; mais il est probable que son intérêt actuel l'empêchera de vieillir en provoquant le rapide épuisement de l'édition qui doit être faite. C'est le souhait que nous formulons, d'autant plus sincèrement que sa réalisation nous vaudra une seconde édition à nouveau « up-to-date ».

Bibliographie : Le système Taylor, par C. Bertrand Thompson, ingénieur-conseil du Ministère de l'Armement, ancien maître de conférences à l'Université de Havard (2).

Dans ce volume l'auteur a reproduit les trois conférences qu'il a faites sur le système Taylor, en octobre dernier, au Conservatoire des Arts et Métiers. Les comptes rendus de ces conférences que nous avons publiés dans les numéros de la « R. G. E. » des 19 et 26 octobre et 2 novembre 1918, t. IV, p. 562-602 et 642, nous dispensent dès lors d'insister sur son contenu. Bornons-nous donc à en recommander la lecture à ceux qui désirent s'initier rapidement à ce qu'on doit entendre par le système Taylor.

Bibliographie : La Vie Automobile. — Momentanément interrompue par la guerre, la « Vie Automobile » va reprendre sa publication régulière.

Rappelons que ce journal contient non seulement des articles d'intérêt général ou descriptifs concernant les véhicules automobiles, mais encore il donne le compte rendu de « ce qu'on écrit, ce qu'on dit » dans le monde automobile.

(1) *R. G. E.*, 15 déc. 1917, t. II, p. 922.

(1) Un vol., format 25 cm × 16 cm, 168 p., 62 fig., édité par A. Dumas, 6, rue de la Chaussée-d'Antin. Prix, 10 fr.

(2) Un vol., format 19 cm × 12 cm, 156 pages, 8 illustrations hors texte, édité par Payot et Cie. Prix, 3 fr.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Le principe de relativité

Dans un article publié dans la « R. G. E. » du 11 août 1917, le colonel J.-B. Pomey, sans se préoccuper des raisons philosophiques qui ont conduit à établir celui-ci, accepte à priori la transformation analytique qui en est l'expression, en examine les conséquences au point de vue de la mesure du temps et des longueurs et en déduit l'explication de divers phénomènes tels que l'entraînement partiel de l'éther.

J'ai déjà exposé l'origine du principe de relativité dans un article publié antérieurement dans cette revue (1). Ce qui m'engage à revenir sur la question, c'est que le précédent exposé avait une certaine obscurité en raison de son excès de concision, et que je crois pouvoir donner ici les clartés nécessaires ; c'est aussi qu'après avoir montré les difficultés qui ont conduit au principe, il est bon de voir comment le principe permet de les résoudre ; c'est enfin que la théorie de la relativité ayant donné lieu récemment à une théorie plus générale, celle-ci ne pourra être abordée, par ceux qui s'y intéresseront, à cause des résultats obtenus en astronomie, que s'ils se sont rendu compte d'une façon satisfaisante du contenu de la théorie ordinaire. J'espère d'ailleurs que le lecteur pourra suivre les présentes explications sans avoir à recourir à l'article de 1917.

Je me propose d'examiner la signification du principe de relativité, en précisant les mesures de temps et de longueur et de donner les explications élémentaires de l'aberration, de l'effet Doppler et de l'entraînement partiel de l'éther par la matière.

Enfin j'étudierai le rôle de l'éther dans les théories physiques.

Les systèmes d'axes de référence de la mécanique rationnelle. — La mécanique rationnelle affirme qu'il y a un système d'axes par rapport auquel les axiomes de Newton sont vérifiés et il résulte des lois elles-mêmes que, si un pareil système existe, il y en a une infinité d'autres jouissant de la même propriété ; ce sont tous les systèmes animés par rapport au premier d'un mouvement de translation rectiligne et uniforme.

On voit donc pourquoi on pourra, en général, appliquer aux phénomènes de mouvement qui se produisent à la surface de la terre les lois de la mécanique, en les rapportant à la terre, comme si elle formait un système de référence immobile.

C'est qu'en réalité, la terre est animée de deux mouvements simultanés qui se composent, l'un autour du soleil, l'autre autour de l'axe des pôles. En vertu du premier, comme l'excentricité de l'orbite terrestre est petite, le rayon vecteur qui va du soleil à la terre tourne, en un jour, de un trois cent soixante-cinquième de 360°, c'est-à-dire de moins de 1° ; en une demi-heure, par exemple, l'angle décrit serait quarante-huit fois plus petit, autant dire insensible ; la vitesse correspondante du centre de la terre pourra être considérée comme constante en grandeur et en direction : elle est de 30 km : sec. En vertu du second mouvement, d'autre part, la terre tourne autour de son axe avec une vitesse de rotation qui est à peu près deux fois moindre que la vitesse de rotation de la petite aiguille d'une pendule ; sur un cadran divisé, comme d'ordinaire, en soixante parties égales, cette petite aiguille décrit en une heure cinq divisions qui valent 30°, de sorte qu'en une demi-heure la terre ne tourne que de 7° 1/2. C'est une vitesse de rotation bien faible ; elle est si petite qu'à l'équateur la vitesse d'un point de la terre, étant égale environ à la quatre-vingt-six mille quatre centième partie de la circonférence terrestre (4.10^6 m), elle n'est guère que de 462 m : sec. C'est une quantité minime, si on la compare aux 30 km : sec envisagés précédemment. Il en résulte donc qu'en général on pourra considérer que les axes de référence formés en un lieu donné par la verticale, les directions de l'Est et du Nord constituent un trièdre animé d'un simple mouvement de translation rectiligne et uniforme, dont la vitesse est de 30 km : sec.

Certains phénomènes, la déviation vers l'Est de la chute des graves, le mouvement du pendule de Foucault, etc., montrent cependant la nécessité de rechercher un système d'axes de référence répondant mieux aux conditions théoriques et l'on prend alors le système formé par le soleil et la voûte étoilée.

Hypothèse de l'éther. — Cela suffit pour les phénomènes mécaniques ; cependant, ce système n'est pas immobile ; on suppose déjà que le soleil se meut vers la constellation d'Hercule. Mais les physiciens sont intervenus et, ajoutant les observations de l'optique à celles de la mécanique, ont imaginé une substance qui serait le siège des ondulations lumineuses et électriques

(1) J.-B. POMEY. Le principe de la relativité. *R. G. E.*, 11 août 1917, t. II, p. 203-210.

Digitized by Google

et qui, dans son ensemble, serait immobile, offrant ainsi le système de référence en repos absolu vers lequel on tendait. Voilà donc un système privilégié dont l'immobilité va permettre d'expliquer simplement un certain nombre de phénomènes.

S'agit-il d'expliquer l'aberration, on remarquera que, l'éther étant fixe, la vitesse de propagation du rayon lumineux qui nous vient d'une étoile, ne dépend pas de la vitesse dont la source peut être animée et la direction apparente dépend de la vitesse de la terre, d'après la même règle qui nous invite à incliner notre parapluie, plus ou moins, suivant la rapidité de notre marche sous une pluie d'ailleurs verticale.

Il en est de même pour l'effet Doppler : les vibrations lumineuses se propagent dans l'éther fixe ; si nous allons à leur rencontre, leur fréquence nous paraîtra accrue. Si une locomotive se rapproche de nous en sifflant, la note monte.

L'expérience de Fizeau nous apprend encore que, si l'indice de réfraction d'un milieu en mouvement est très voisin de l'unité, la vitesse de propagation de la lumière au sein de ce milieu est sensiblement la même que si le milieu était au repos. Si le milieu a un indice de réfraction différent de l'unité, il y a, selon Fresnel, entraînement partiel de l'éther par la lumière, sans qu'on puisse bien se représenter l'état de cette substance entraînée, si la lumière n'est pas monochromatique, l'indice étant fonction de la longueur d'onde. Mais dans le cas de n très voisin de l'unité, l'éther au repos explique bien le résultat de l'observation.

Enoncé du principe de relativité. — Cela posé, du moment que l'éter immobile est admis, on doit pouvoir déceler le mouvement de la matière par rapport à lui ; l'échec de ces tentatives conduit au principe de relativité, que j'énoncerai comme suit :

Un événement susceptible de mesure se situe dans l'espace et le temps. Un « point » sera donc défini si on donne ses coordonnées rectangulaires (x, y, z) par rapport à un système de référence K et l'époque de l'observation t.

Imaginons un autre système trirectangulaire d'axes de référence K' et soient, pour un observateur placé dans ce système (x', y', z') les coordonnées géométriques du point précédent et t' l'heure de l'observation.

Précisons en admettant qu'à l'époque $t = 0$, à laquelle nous faisons correspondre l'époque $t' = 0$, les deux systèmes K et K' sont en coïncidence, axe sur axe, et que le système K' est animé par rapport au système K d'une vitesse uniforme v. Enfin les axes ox et ox' sont censés dirigés suivant v.

Alors le principe de relativité dit que l'on a les relations

$$(1) \qquad x' = k(x - vt), \qquad k = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}},$$

$$(2) \qquad y' = y,$$

$$(3) \qquad z' = z,$$

$$(4) \qquad t' = k\left(t - \frac{v}{V^2}x\right),$$

Dans ces équations, V représente la vitesse de propagation de la lumière. C'est un principe fondamental de cette théorie que la mesure de cette vitesse donne un nombre invariable V, quel que soit le système dans lequel l'observation se fasse. Nous donnerons en terminant l'explication de cette hypothèse d'aspect paradoxal. Pour le moment nous remarquerons que les équations précédentes conduisent à l'identité

$$x^2 + y^2 + z^2 - V^2t^2 \equiv x'^2 + y'^2 + z'^2 - V^2t'^2.$$

Ainsi, quel que soit le système considéré les ondes lumineuses sont sphériques et leur vitesse de propagation est V.

Les phénomènes optiques qui sont régis par une question de minimum de temps seront donc les mêmes dans les systèmes K et K'.

Il s'agit maintenant de comprendre la signification de ces équations.

1° *Mesure du temps.* — Plaçons une horloge H_0 à l'origine du système K et réglons sur H_0 les diverses horloges qui sont placées à poste fixe aux divers points de ce système. On commencera par déterminer V par une expérience préalable, puis on fera envoyer par H_0 des signaux lumineux et l'on règlera les horloges H en tenant compte de la durée de propagation.

On peut, dans le système K', régler de même les horloges H' qui s'y trouvent en des points donnés, sur l'heure de l'horloge H'_0 placée à l'origine o'.

D'ailleurs, au temps $t = 0$, H'_0 marquait aussi $t' = 0$.

Comparons maintenant les horloges H' aux horloges H. Au moment où une horloge passerait d'un système dans l'autre, il y aurait un brusque changement de vitesse dont nous ne pouvons préjuger l'influence.

On ne peut non plus employer un système de signalisation, bon quand les horloges sont à poste fixe, mais critiquable quand elles sont en mouvement relatif.

Nous recourrons à l'équation (4).

Mettons dans le système K un observateur à l'origine. Faisons donc $x = 0$. Au temps t marqué par l'horloge H_0, cet observateur verra défiler une horloge H' qui marquera l'heure t' et l'on aura $t' = kt$, avec $k > 1$, l'horloge H' sera en avance.

Inversement de (1), (2), (3), (4), on déduit

$$(1') \qquad x = k(x' + vt'),$$

$$(2') \qquad y = y',$$

$$(3') \qquad z = z',$$

$$(4') \qquad t = k\left(t' + \frac{v}{V^2}x'\right).$$

L'observateur, placé dans K' à l'origine o' $(x' = 0)$, verra défiler devant lui une horloge H marquant le temps t et l'on aura $t = kt'$, avec $k > 1$. Pour ce second observateur, les apparences sont donc les mêmes que pour le premier; l'horloge appartenant à l'autre système est en avance au moment où elle passe devant lui. D'ail-

Digitized by Google

leurs, comme k dépend du carré de v, le phénomène reste le même quand le mouvement relatif est inversé.

Echelonnons maintenant suivant l'axe ox, dans le système K, divers observateurs et supposons qu'à la même heure, $t = 0$ par exemple, ils notent l'heure marquée par les horloges H′ du système K′ qui défilent devant eux, on aura

$$t' = -\frac{k}{V^2}x.$$

c'est-à-dire que les horloges H′ seront en retard et le seront d'autant plus qu'il s'agira d'un observateur situé sur ox en un poste plus avancé.

Considérons enfin l'horloge H'_0. Quand K et K′ coïncident, elle marque l'heure zéro comme H_0, puis cette horloge se déplace par rapport à K et sa position est donnée par $x = vt$, à l'époque t marquée par H_0. Donc, d'après l'équation (4), où l'on fait $x = vt$, elle marque l'heure

$$t' = k\left(t - \frac{v^2 t}{V^2}\right) \quad \text{ou} \quad t' = \frac{t}{k}, \quad k > 1.$$

Ainsi, l'horloge H'_0 qui se déplace par rapport au système K est en retard sur l'horloge H_0 qui est fixe par rapport à ce système.

2° *Mesure des longueurs.* — Dans le système K, on mesure les longueurs à la façon dont un géomètre fait le chaînage d'une route.

Il en est de même dans le système K′.

Il s'agit maintenant de comparer les longueurs du système K aux longueurs du système K′. Il ne suffit plus alors de porter bout à bout l'unité de longueur, car en passant du système K dans le système K′ l'unité de longueur éprouve un brusque changement de vitesse dont l'effet est inconnu, à priori.

Tant que la longueur à mesurer repose dans le système K, un mètre suffit; pour l'observateur qui appartient au système K′, l'étalon de longueur ne suffit plus; il faut encore des horloges. Imaginons que la longueur a soit étendue sur l'axe ox; choisissons l'époque t' pour faire la mesure: on suppose que c'est, à l'époque t', l'observateur du système K′ qui est placé en x'_1, qui voit passer l'un des bouts de la longueur a et que, parmi les autres observateurs du système K′ échelonnés le long de l'axe ox' et fixes dans K′, c'est celui qui est placé à la distance x'_2 de o' qui voit, à la même époque convenue t', le second bout de la longueur a défiler devant lui. La nécessité de faire les deux pointages simultanément complique le procédé de mesure. D'après (1)′, on aura à l'époque t', dans le système K′, si x_1 et x_2 sont les coordonnées de l'origine et de l'extrémité de a,

$$x_1 = k(x'_1 + vt'),$$
$$x_2 = k(x'_2 + vt'),$$

d'où, par différence,

$$x_2 - x_1 = k(x'_2 - x'_1),$$

où

$$x'_2 - x'_1 = \frac{a}{k}, \qquad k > 1$$

La mesure $x'_2 - x'_1$ indiquera donc une contraction de a, quel que soit du reste le signe de v, puisque v entre dans k, seulement par son carré.

Il est facile de vérifier que les apparences sont réciproques.

Et nous remarquerons immédiatement que le principe de relativité donne la contraction qui, suivant Lorentz, suffit à expliquer le résultat négatif de l'expérience de Michelson.

Expérience de Michelson. — J'arrive maintenant à l'explication des phénomènes (W. Bloch).

En ce qui concerne l'expérience de Michelson elle-même, il s'agissait, comme on sait, de faire deux expériences consécutives. On produit des franges d'interférence, les rayons étant dirigés suivant ox. On fait tourner l'appareil de 90°, les rayons sont maintenant dirigés suivant oy. Les franges se déplaceront-elles? L'observateur et l'appareil appartiennent au même système K, donc tout se passera comme si le système était au repos.

Aberration. — Soient (a, b) les coordonnées de l'étoile E (fig. 1). Suivons une ondulation le long du rayon

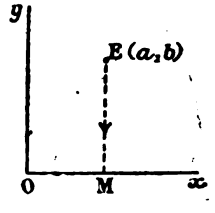


Fig. 1.

lumineux E M, parallèle à oy, les coordonnées du point mobile considéré sont

$$x = a,$$
$$y = b - Vt.$$

Dans le système K′ animé de la vitesse v suivant ox, on a

$$x' = k(a - vt),$$
$$y' = b - Vt.$$

Le coefficient angulaire de cette droite donne pour l'angle d'aberration α

$$\operatorname{tg}\alpha = k\frac{v}{V}.$$

Comme k est très voisin de l'unité, c'est sensiblement la valeur $\frac{v}{V}$ de la théorie ordinaire.

Digitized by Google

Effet Doppler. — Le rayon lumineux se propage suivant ox avec la vitesse v et l'on a pour la variable lumineuse y, dans l'éther immobile,

$$y = \sin \frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{V}\right).$$

Dans un milieu qui se déplace avec la vitesse v, on a, d'après la mécanique ordinaire

$$y = \sin \frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x + vt}{V}\right),$$

ce que l'on peut écrire sous la forme

$$y = \sin \frac{2\pi}{T'}\left(t - \frac{x}{V'}\right),$$

en posant

$$\frac{1}{T'} = \frac{1}{T}\left(1 - \frac{v}{V}\right),$$

$$\frac{1}{T'V'} = \frac{1}{TV}, \quad \text{d'où} \quad V' \neq V.$$

Appliquons, au contraire, les formules du principe de relativité. On a, d'après (1)' et (4)',

$$y' = y = \sin \frac{2\pi}{T} k\left(t' + \frac{v}{V^2}x' - \frac{x' + vt'}{V}\right),$$

expression qui se simplifie et donne

$$y' = \sin \frac{2\pi}{T'}\left(t' - \frac{x'}{V}\right),$$

avec

$$\frac{1}{T'} = \frac{k}{T}\left(1 - \frac{v}{V}\right),$$

et la vitesse de propagation est inchangée, conformément au principe fondamental.

Comme k est très voisin de l'unité, la valeur de T' donnée par le principe de relativité est très voisine de la valeur de T' donnée par l'application des principes de la mécanique rationnelle.

Entraînement partiel de l'éther. — Le problème est le suivant : un observateur A appartenant au système K observe un mobile qui, pour un observateur B placé dans le système K' se déplace avec la vitesse v' le long de ox', quelle est la vitesse résultante u, que l'observateur A attribuera à ce mobile?

Pour B, on a

$$x' = v't',$$

d'où, en divisant membre à membre (1) et (4)

$$\frac{x'}{t'} = v' = \frac{x - vt}{t - \frac{v}{V^2}x},$$

Pour A, on a

$$x = ut.$$

D'où, d'après l'équation précédente,

$$u = \frac{v + v'}{1 + \frac{vv'}{V^2}}.$$

On peut, si l'on veut, dire d'une façon abrégée, que u est la vitesse résultante de v et v', mais c'est une manière un peu incorrecte de s'exprimer, car dans la théorie de la relativité, il est essentiel d'indiquer le système et l'observateur.

Supposons maintenant un rayon lumineux qui se propage dans un milieu animé de la vitesse v et que sa vitesse de propagation dans ce milieu transparent particulier soit v'. Par définition de l'indice de réfraction, on aura donc.

$$n = \frac{V}{v'}.$$

D'autre part, v est toujours assez petit pour qu'on puisse négliger son carré. On aura donc en développant l'expression précédente

$$u = v' + v\left(1 - \frac{v'^2}{V^2}\right),$$

ou

$$u = v' + v\left(1 - \frac{1}{n^2}\right).$$

La vitesse v se compose donc avec la vitesse v' après qu'elle a été réduite dans le rapport de 1 à $1 - \frac{1}{n^2}$. C'est là une interprétation très simple de l'hypothèse faite par Fresnel.

Rôle de l'éther. — Revenons maintenant à la notion de l'éther immobile. Puisque nous ne pouvons saisir aucune de ses manifestations, ne vaut-il pas mieux s'abstenir de parler de lui? Quel sera alors le sens des équations du champ électrodynamique? Ce seront des équations de liaison entre le vecteur électrique et le vecteur magnétique et on les posera à priori comme on se donne à priori les axiomes de la mécanique rationnelle. Leur origine sera une origine historique, non logique. C'est le point de vue de Lorentz.

Mesure de V. — Il y a cependant quelque chose d'étrange dans cette supposition que la mesure de la vitesse de la lumière donne toujours le même nombre, que les observations soient faites dans le système K ou qu'elles le soient dans le système K' qui est animé par rapport au premier d'une vitesse v. Mais il faut remarquer que k devant être réel, les vitesses de déplacement d'un système matériel v sont toujours inférieures à V. Donc V se présente comme une vitesse limite et la formule même de composition des vitesses montre que si

Digitized by Google

l'on compose avec la vitesse V une autre vitesse v inférieure à V, on obtient encore la vitesse V; c'est un résultat auquel nous sommes déjà arrivés dans l'étude de l'effet Doppler.

On comprend ainsi que la vitesse V ait sa mesure indépendante de la vitesse v du système de référence.

Si je pose $v = V - a$, $v' = V - b$, avec a et b positifs, j'aurai, d'après la règle de composition des vitesses

$$u = V\frac{2V - a - b}{2V - a - b + \frac{ab}{V}} < V.$$

La composition de vitesses de même sens ne permet donc pas de dépasser V; et si l'on a, $b = o$, il reste $u = V$ comme nous venons de l'indiquer.

Le principe fondamental, d'après lequel le nombre qui mesure la vitesse de la lumière reste le même pour tous les systèmes de référence en mouvement de translation rectiligne et uniforme les uns par rapport aux autres, ne soulève donc aucune difficulté essentielle.

J.-B. Pomey,
Ingénieur en chef des Télégraphes.

Note sur le calcul des coefficients de la série de Fourier

Dans la note ci-dessous, l'auteur expose un procédé pratique de calcul approché des coefficients de la série de Fourier, relatifs au développement d'une fonction périodique. Le procédé proposé, basé sur une division de la période qui tient compte de l'allure même de la courbe représentative sera, dans la plupart des cas, plus rapide que les procédés classiques.

Principe du procédé. — Soit $y = F(t)$ l'équation d'une courbe périodique, de période T, de pulsation $\omega = \frac{2\pi}{T}$. La fonction $F(t)$ étant supposée développable en série de Fourier, ce développement prend la forme

$$F(t) = A_0 + A_1 \sin \omega t + B_1 \cos \omega t + \Sigma A_n \sin n\omega t, B_n \cos n\omega t,$$

avec

$$A_0 = \frac{1}{T}\int_0^T F(t)\,dt, \quad A_n = \frac{2}{T}\int_0^T F(t) \sin n\omega t\, dt,$$

$$B_n = \frac{2}{T}\int_0^T F(t) \cos n\omega t\, dt.$$

Différents procédés ont été donnés pour le calcul approché des coefficients. Dans la plupart, on divise la période en un nombre fixe d'intervalles égaux. Il semble plus rationnel d'opérer cette division en tenant compte de l'allure de la courbe, c'est-à-dire de ses points singuliers, points anguleux, points d'inflexion, etc.

Soient o, 1, 2,... m ces points. Dans l'intervalle $p - 1, p$ nous assimilons la courbe à une portion de droite d'équation $y = K_p t + h_p$.

Calcul de A_n. — On a

$$A_n = \frac{2}{T}\int_0^T F(t) \sin n\omega t\, dt = \frac{2}{T}\left[\int_0^1 + \int_1^2 + \cdots \int_{p-1}^{p} + \cdots \int_m^0\right],$$

où

$$\int_{p-1}^{p} = K_p \int_{p-1}^{p} t \sin n\omega t\, dt + h_p \int_{p-1}^{p} \sin n\omega t\, dt;$$

mais

$$\int_{p-1}^{p} t \sin n\omega t\, dt = \left[\frac{-t}{n\omega} \cos n\omega t + \frac{\sin n\omega t}{n^2\omega^2}\right]_{p-1}^{p},$$

$$\int_{p-1}^{p} \sin n\omega t\, dt = \left[-\frac{\cos n\omega t}{n\omega}\right]_{p-1}^{p},$$

de sorte que

$$\int_{p-1}^{p} F(t) \sin n\omega t\, dt = \left[\frac{-y}{n\omega} \cos n\omega t + K_p \frac{\sin n\omega t}{n^2\omega^2}\right]_{p-1}^{p}.$$

On en conclut

$$\begin{aligned} A_n = \frac{-2}{\omega T} [&y_1 \cos n\omega t_1 - y_0 \cos n\omega t_0 + \\ &+ \ldots y_p \cos n\omega t_p - y_{p-1} \cos n\omega t_{p-1} \\ &+ \ldots y_m \cos n\omega t_m - y_{m-1} \cos n\omega t_{m-1} \\ &+ \ldots y_0 \cos n\omega t_0 - y_0 \cos n\omega t_m] \\ &+ \frac{2}{T} \Sigma_0 \left[K_p \frac{\sin n\omega t}{n^2\omega^2}\right]_{p-1}^{p}. \end{aligned}$$

La première somme est nulle; par suite,

$$\begin{aligned} A_n = \frac{2}{T n^2\omega^2} [&K_1 (\sin n\omega t_1 - \sin n\omega t_0) \\ &+ K_2 (\sin n\omega t_2 - \sin n\omega t_1) \\ &+ K_p (\sin n\omega t_p - \sin n\omega t_{p-1}) \\ &+ K_m (\sin n\omega t_0 - \sin n\omega t_m)], \end{aligned}$$

ou

$$\begin{aligned} A_n = \frac{2}{T n^2\omega^2} [&(K_1 - K_2) \sin n\omega t_1 + (K_2 - K_3) \sin n\omega t_3 + \ldots \\ &+ (K_p - K_{p+1}) \sin n\omega t_p + (K_m - K_1) \sin n\omega t_0]. \end{aligned}$$

Digitized by Google

Posons

$$\mu_0 = K_m - K_1 \qquad \mu_p = K_p - K_{p+1}.$$

Les termes μ sont les différences des coefficients angulaires entre les droites aboutissant au point p, y et t étant mesurés avec la même échelle.

Avec ces notations :

$$A_n = \frac{2}{Tn^2\omega^2} \Sigma_0^m \mu_p \sin n\omega t_p = \frac{T}{2\pi^2 n^2} \Sigma_0^m \mu_p \sin 2\pi n \frac{t_p}{T}.$$

De même :

$$B_n = \frac{T}{2\pi^2 n^2} \Sigma_0^m \mu_p \cos 2\pi n \frac{t_p}{T}.$$

L'opération se réduit à ceci :

1° Coter les points o, 1, 2... m de la double cote μ et $x = 2\pi \frac{t}{T}$, cette dernière cote peut être figurée sur l'échelle O T (fig. 1).

2° Pour chaque harmonique n faire le calcul de la somme $\Sigma_0^m \mu \sin nx$. Ce calcul peut être facilité si l'on

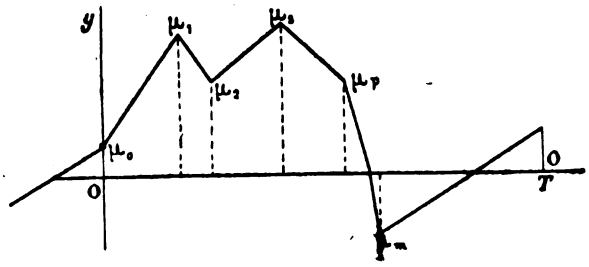


Fig. 1.

dispose en dessous de l'échelle OT un réseau d'échelles simples sin nx correspondantes.

Cas particulier : μ *est infini.* — Le calcul montre que, dans ce cas, il suffit de supposer les points p et p + 1 confondus et d'ajouter à la somme le terme

$$n\omega (y_{p+1} - y_p) \cos 2\pi n \frac{t_p}{T}.$$

Remarque 1. — L'avantage du procédé c'est de n'exiger, dans un grand nombre de cas, qu'un petit nombre d'opérations.

Remarque 2. — Soit une portion C de la courbe $y = F(t)$, nous la remplaçons par la droite AB (fig. 2), d'équation $y = f(t)$

$$\int F(t) \sin n\omega t\, dt = \int f(t) \sin n\omega t\, dt + \int F(t) - f(t) \sin n\omega t\, dt.$$

Soit $\varphi(t) = F(t) - f(t)$

La fonction $\varphi(t)$ est représentée, entre A′ et B′, par la courbe C′. De sorte que l'approximation faite revient à négliger l'intégrale relative aux portions de courbes C′; on peut donc, à tout instant, se rendre compte de l'approximation faite.

Remarque 3. — La présence du facteur $\frac{1}{n^2}$ montre que l'importance des harmoniques va rapidement en décroissant, en même temps d'ailleurs que la précision obtenue dans le calcul des coefficients correspondants (la précision dans le calcul de sin $n\omega x$ tend vers o avec n).

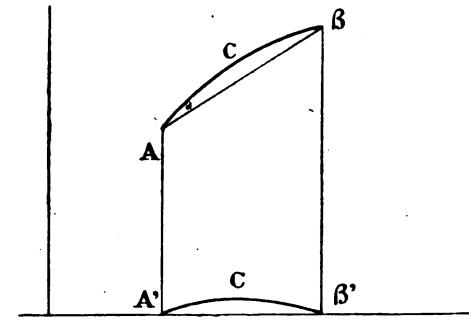


Fig. 2.

Exemples d'application. — *1er exemple.* — Soit la courbe $y = \frac{1}{4} \sin 2\pi t$, tracée sur le papier (fig. 3), nous supposons que cette courbe n'a pas été reconnue, et nous voulons calculer les coefficients A_n et B_n.

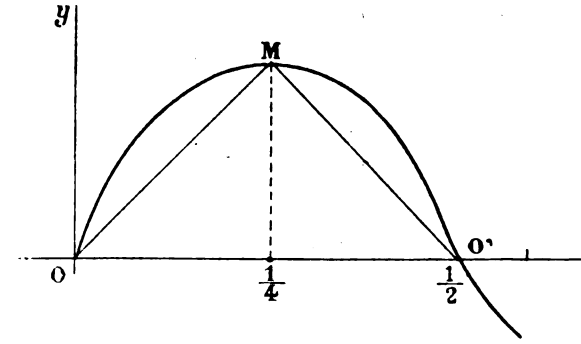


Fig. 3.

La période est $T = 1$. Il est évident, ici, qu'il suffit de faire le calcul relatif à l'intervalle o, $\frac{1}{2}$ et de multiplier le résultat par 2. A titre de curiosité nous assimilerons la courbe à la ligne brisée OMO′.

Les cotes de M sont $\mu = 2$

$$x = \frac{2\pi}{4} = \frac{\pi}{2}, \qquad \sin x = 1.$$

D'où

$$A_1 = \frac{1}{2\pi^2} \mu \sin x = \frac{2}{\pi^2} = 0{,}202.$$

Digitized by Google

La valeur exacte de A_1 est 0,25, l'écart des deux valeurs n'est pas considérable si l'on considère que nous n'avons utilisé qu'un seul point.

2e exemple. — Soit,

$$y = F(t) = \frac{1}{2}\sin 2\pi t + \frac{1}{4}\sin 6\pi t + \frac{1}{10}\sin 10\pi t.$$

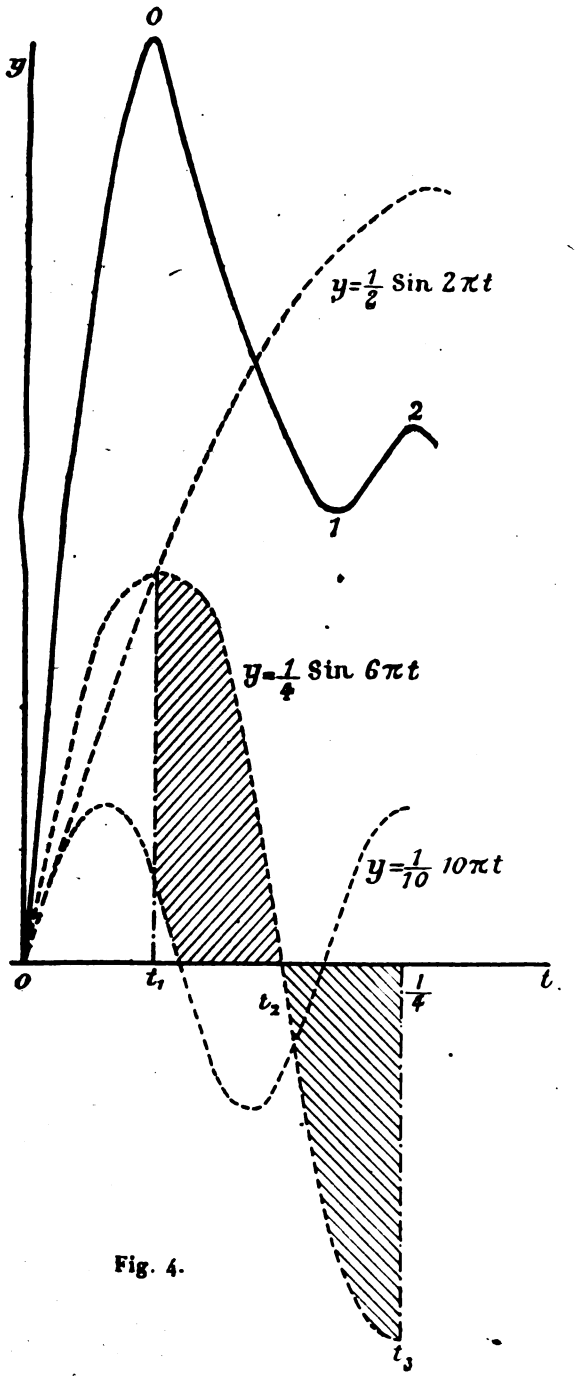


Fig. 4.

Les points singuliers sont les points 0, 1, 2, de cotes

$$\mu_0 = 11; \quad \mu_1 = -4,2; \quad \mu_2 = 1,2.$$

Il est facile de voir qu'il suffit de considérer l'intervalle 0 à $\frac{1}{4}$ pour t et multiplier les Σ par 4.

Formons le tableau suivant :

m	μ	$\sin x$	$\mu \sin x$	$\sin 3x$	$\mu \sin 3x$	$\sin 5x$	$\mu \sin 5x$
0	11	0,5	5,5	1	11	0,7	7,7
1	−4,2	0,98	−4,12	−0,66	2,76	0	0
2	1,2	1	1,2	−1	−1,2	1	1,2
Σ			2,58		12,56		8,9

Nous obtenons :

$$A_1 = \frac{4}{2\pi^2}\Sigma_1 = 0,516,$$

$$A_3 = \frac{4}{2\pi^2.9} = 0,28,$$

$$A_5 = \frac{4}{2\pi^2.25} = 0,07.$$

Les valeurs exactes étaient 0,50, 0,25 et 0,10.

L'erreur croît avec l'ordre de l'harmonique; rapportée à l'amplitude de l'harmonique fondamental l'erreur sur l'amplitude de l'harmonique 5 est de 6 pour 100, ce qui n'est pas considérable.

Si l'on calcule les coefficients de la série de Fourier, avec le même nombre de divisions, par exemple, par le procédé indiqué par Fleming (Téléphonie et Câbles téléphoniques, pages 110 à 113), l'écart entre les valeurs réelles et les valeurs calculées est beaucoup plus considérable.

Nous divisons le $\frac{1}{4}$ de période en 3, la période en 12 et nous écrivons :

$A_1 =$ 2 fois valeur moyenne de $y \sin 2\pi t$,
$A_3 =$ Id. de $y \sin 6\pi t$,
$A_5 =$ Id. de $y \sin 10\pi t$.

Formons le tableau de Fleming

t	y	$\sin 2\pi t$	$y \sin$	$\sin 6\pi t$	$y \sin$	$\sin 10\pi t$	$y \sin$
0	0		0		0		0
t_1	0,6	0,5	0,30	1	0,60	0,5	0,30
t_2	0,35	0,8	0,28	0	0	−0,8	−0,28
t_3	0,35	1	0,35	−1	−0,35	1	0,35
Σ			0,93		0,25		0,37
Doubles valeurs moyennes..			0,62		0,16		0,25

Digitized by Google

Nous trouvons donc les valeurs

$$A_1 = 0{,}62, \quad A_3 = 0{,}16, \quad A_5 = 0{,}25.$$

Le procédé de Fleming revient à remplacer l'intégrale $\int F(t) \sin pt\, dt$ par la somme d'éléments finis, or la somme $\int y \sin pt\, dt$ peut s'écrire $\int \sin pt\, ds$, ds étant l'aire infiniment petite du rectangle y, dt, l'approximation faite revient encore à remplacer l'intégrale par $\Sigma\, y \sin pt\, dt$, y étant l'un des points de l'intervalle, dt la longueur de cet intervalle, $\sin pt$ une valeur particulière; dans le cas qui nous occupe pour A_3, l'aire correspondant à la partie hachurée dans le sens \ a été remplacée par zéro, l'aire relative à la partie hachurée dans le sens / par $y\, dt$, y étant d'ailleurs de valeur absolue maximum dans l'intervalle, mais négatif. Ces deux approximations très grossières tendent toutes deux à diminuer la valeur calculée de A_3.

Louis PUGET,
Ingénieur des Télégraphes.

Revues, analyses et informations

La détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur par Sadi Carnot.

Dans une note récemment présentée à l'Académie des Sciences, M. L. Décombe (1) a montré que, contrairement à l'opinion courante, Sadi Carnot avait une notion très nette du principe de l'équivalence de la chaleur et du travail et qu'il avait même trouvé la relation numérique existant entre l'unité de chaleur et l'unité de travail. Sadi Carnot serait donc le grand découvreur des deux principes fondamentaux de la thermodynamique que les ingénieurs appliquent aujourd'hui journellement. Ce point de l'histoire des sciences ne saurait donc être ignoré de nos lecteurs ; aussi croyons-nous devoir reproduire ci-dessous in-extenso la note de M. Décombe.

1. A la suite de Clausius on a souvent reproché à Carnot d'avoir adopté, dans ses « Réflexions sur la puissance motrice du feu », le point de vue alors classique mais inexact de la matérialité du calorique. Mais on oublie de faire remarquer que ce n'est que sous les réserves les plus formelles comme en témoignent les passages suivants (2).

Au reste, pour le dire en passant, les principaux fondements sur lesquels repose la théorie de la chaleur auraient besoin de l'examen le plus attentif. Plusieurs faits d'expérience paraissent à peu près inexplicables dans l'état actuel de cette théorie (p. 20, note 1). Et plus loin : .., *La loi fondamentale que nous avions en vue de confirmer... est assise sur la théorie de la chaleur telle qu'on la conçoit aujourd'hui et, il faut l'avouer, cette base ne nous paraît pas d'une solidité inébranlable. Des expériences nouvelles pourraient seules décider la question; en attendant, nous nous occuperons d'appliquer les idées théoriques ci-dessus exposées, en les regardant comme exactes, à l'examen des divers moyens proposés jusqu'à présent pour réaliser la puissance motrice de la chaleur* (p. 50).

D'autre part, on trouve dans les Notes manuscrites de Sadi Carnot une série d'objections contre la matérialité du calorique qui le conduisent à l'énoncé formel du principe de l'équivalence :

Partout où il y a destruction de puissance motrice il y a, en même temps, production de chaleur en quantité précisément proportionnelle à la quantité de puissance motrice détruite. Réciproquement, partout où il y a destruction de chaleur, il y a production de puissance motrice (p. 94)... *D'après quelques idées que je me suis formées sur la théorie de la chaleur, la production d'une unité de puissance motrice nécessite la destruction de 2,70 unités de chaleur* (p. 95). L'unité de puissance motrice dont il s'agit étant la tonne-mètre (p. 95), l'équivalent mécanique *calculé par Carnot* ressort donc à $\frac{1000}{2{,}70}$, c'est-à-dire à 370 kg, nombre sensiblement voisin de celui (365) qui a illustré, au moins dix ans plus tard, le nom de Mayer (1).

2. Comment Carnot a-t-il obtenu ce nombre de 2,70. Je me propose de montrer que l'on peut reconstituer son calcul à l'aide des seules données contenues dans son Mémoire de 1824. Laissons parler Carnot :

La différence entre la chaleur spécifique sous pression constante et la chaleur spécifique sous volume constant est la même pour tous les gaz (p. 25)...; *elle est toujours la même, quelle que soit la densité du gaz, pourvu que la quantité pondérable reste la même* (p. 32). Il s'agit, bien entendu, de la chaleur spécifique des gaz parfaits (p. 22) rapportée au volume (p. 25). Mais Carnot va plus loin et se demande (p. 31) :

A quelle cause est due en effet la différence entre les chaleurs spécifiques prises sous volume constant et sous

(1) L. DÉCOMBE ; Sadi Carnot et le principe de l'Equivalence. Son calcul de l'équivalent mécanique de la chaleur reconstitué à l'aide de données exclusivement empruntées aux « Réflexions sur la puissance motrice du feu ». *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 3 février 1919, t. CLXVIII, p. 268-271.

(2) *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, par Sadi Carnot, Paris, 1824, chez Bachelier. Réimprimé par Gauthier-Villars en 1872 dans les *Annales scientifiques de l'Ecole normale supérieure*, puis, en 1878, dans une édition séparée contenant divers autres documents et notamment une Notice bibliographique sur Sadi Carnot et un important extrait de ses Notes manuscrites inédites. C'est à la pagination de cette dernière édition que se rapportent les références de la présente communication. Les Notes manuscrites se rapportant à des sujets scientifiques ont été offertes à l'Académie des Sciences par le sénateur H. Carnot, frère de Sadi, pour être déposées aux Archives de l'Institut (*Comptes rendus*, t. LXXXVII, 1878, p. 967).

Sadi Carnot et Hippolyte Carnot étaient les fils de Lazare Carnot, le célèbre organisateur de la Victoire dans les guerres de la Révolution.

(1) Robert MAYER. *Ann. der Chemie und Pharmacie*, 1842, t. XLII, p. 233 (Sadi Carnot a été emporté par le choléra en 1832).

Digitized by Google

pression constante? Au calorique nécessaire pour produire dans le second cas l'augmentation de volume, répond-il aussitôt.

La matérialité du calorique étant abandonnée, que faut-il pour tirer de là l'équivalent mécanique? Calculer le travail correspondant à cette augmentation de volume et le comparer à la différence $C - c$ des deux chaleurs spécifiques. Or, *l'échauffement direct sous pression constante doit, d'après la règle de M. Gay-Lussac, augmenter le volume de l'air de* $\frac{1}{267}$ *de ce qu'il serait à* 0° (p. 23). *La pression atmosphérique fait équilibre à* 10,40 m *de hauteur d'eau* (p. 43); *le volume occupé par un kilogramme d'air à* 0° *est égal à* 0,77 m³ (p. 44).

Le travail considéré a donc pour valeur

$$0{,}77\ \frac{1}{267}\ 10{,}40 = 0{,}02999, \text{ soit } 0{,}030 \text{ tonne-mètre.}$$

En ce qui concerne les chaleurs spécifiques : *d'après les expériences de MM. Delaroche et Bérard sur la chaleur spécifique des gaz, celle de l'air est, à poids égaux,* 0,267 *de celle de l'eau* (p. 45). *Si la première de ces deux capacités est exprimée par l'unité, l'autre sera exprimée par le chiffre* $\frac{267}{267 + 116}$ (p. 24). On tire de là

$$C - c = 0{,}267\ \frac{116}{267 + 116} = 0{,}08086,$$

soit 0,081 calorie, étant donnée l'incertitude évidente sur les deux dernières décimales. Or le rapport $\frac{0{,}081}{0{,}030}$ est précisément égal au nombre 2,70 annoncé par Carnot dans ses Notes manuscrites.

3. Pourquoi Carnot n'a-t-il pas jugé bon de publier ce résultat ? Probablement parce que l'opposition radicale du nouveau point de vue avec la théorie de la chaleur « telle qu'on la concevait alors » lui faisait estimer que *des expériences nouvelles pourraient seules décider la question* (p. 50). Rien ne sert, en effet, de déterminer, dans un cas particulier, la valeur numérique d'un équivalent problématique, si des expériences nombreuses, précises et concordantes n'ont, au préalable, démontré l'existence effective de cet équivalent. Or ces expériences, Carnot, dans ses notes manuscrites, en a prévu le programme avec une précision étonnante (p. 95) :

Répéter l'expérience de Kumford sur le forage d'un métal dans l'eau, mais mesurer la puissance motrice consommée en même temps que la chaleur produite ; mêmes expériences sur plusieurs métaux et sur le bois. — Frapper un morceau de plomb en plusieurs sens, mesurer la puissance motrice consommée et la chaleur produite. Mêmes expériences sur d'autres métaux. — Agiter fortement de l'eau dans un barillet ou dans un corps de pompe à double effet et dont le piston serait percé d'une petite ouverture. — Expériences du même genre sur l'agitation du mercure, de l'alcool, de l'air et d'autres gaz. Mesurer la puissance motrice consommée et la chaleur produite.

N'est-ce pas là le programme même des expériences effectuées quinze ou vingt ans plus tard par Joule, Colding et Hirn ?

La conservation de l'électricité et la théorie électronique.

A la séance du 7 février de la Société française de Physique, M. L. Décombe a fait sur ce sujet une communication dont nous reproduisons ci-dessous, d'après le dernier « Bulletin » de la Société, le résumé :

I. — La constitution électrique de la matière étant admise, le principe de la conservation de l'électricité doit être envisagé comme établissant un lien étroit entre les transformations extérieures d'une substance et les modifications intérieures, de nature électrique, dont elle est le siège. Il implique alors, au moins dans un cas très étendu, celui des diélectriques, la conservation du moment électrique de l'atome assimilé à un doublet de moment variable.

Plaçons-nous au point de vue plus particulièrement électronique et assimilons l'atome à une sphère d'électrification positive renfermant, par exemple, un électron négatif de charge e. Pour une distance s entre l'électron et le centre de l'atome, le système est assimilable à un doublet de moment $\mu = es$ et l'électron est rappelé vers le centre par la force $-ks$ proportionnelle à la distance. Soumettons alors à une différence de potentiel V les armatures d'un condensateur plan, supposées adhérentes à une lame diélectrique d'épaisseur ε et de surface S, la substance du diélectrique étant formée d'atomes assimilables au modèle précédent. Chaque électron atomique est alors soumis : 1° à une force Xe due au champ extérieur $X = \frac{V}{\varepsilon}$; 2° à la force élastique de rappel $-ks$; 3° à l'action résultante de tous les autres atomes transformés chacun par le champ total en un doublet de moment $\mu = es$. Cette action est de la forme : $+k' e^2 Ns$, N désignant le nombre d'atomes par unité de volume et k' un coefficient positif. Si l'on pose $K = k - k' e^2 N$, le mouvement de l'électron atomique a pour équation :

$$(1) \qquad m \frac{d^2 s}{dt^2} = -Ks + Xe,$$

Le condensateur étant supposé soumis, en outre, à une pression p et à une température t uniformes, le coefficient K (qui ne dépend que de l'état instantané du diélectrique) doit être considéré comme une fonction uniforme des trois variables indépendantes X, p et t. (Il en est de même des dimensions et, en particulier, de la surface S du condensateur). Si la transformation est réversible, l'accélération $\frac{d^2 s}{dt^2}$ est constamment nulle et l'équation (1) donne

$$s = \frac{Xe}{K} \quad \text{et, par suite,} \quad \mu = \frac{Xe^2}{K}.$$

Le moment électrique étant alors, comme on le voit, fonction uniforme des trois variables X, p et t, reprend la même valeur en même temps que ces dernières au cours d'un cycle fermé quelconque : il y a donc *conservation du moment électrique de l'atome*. Il y a en même temps *conservation de l'électricité*, la charge instantanée q du condensateur s'exprimant dans les mêmes conditions par la relation

$$q = \frac{S}{4\pi}\left(1 + 4\pi \frac{Ne^2}{K}\right) X.$$

Grâce au caractère linéaire de l'équation (1) ces résultats

Digitized by Google

subsistent encore lorsque, pour tenir compte de l'émission d'énergie rayonnante, on attribue à l'électron atomique un mouvement orbital à l'intérieur de l'atome, le moment de ce dernier étant alors pris égal à es, s désignant la distance instantanée du centre de l'orbite au centre de l'atome.

Dans le cas de l'irréversibilité les conclusions précédentes tombent en défaut, même si l'accélération $\frac{d^2s}{dt^2}$ est négligeable, les anomalies diélectriques (résidus, hystérèse, chaleur de Siemens) ne permettant plus de considérer l'équation (1) comme exacte. Il y a alors lieu d'attribuer au milieu atomique une certaine viscosité et d'introduire dans cette équation un terme résistant proportionnel à la vitesse de l'électron (1) (terme nécessaire d'ailleurs à l'explication de l'absorption lumineuse). Le moment électrique μ et, par suite, toutes les grandeurs qui en dépendent, sont alors constamment en retard sur le champ (1) et il n'y a plus, en général, conservation du moment électrique de l'atome.

II. — Envisagé au point de vue précédent, le principe de la Conservation de l'électricité peut permettre d'approfondir la constitution de la matière en utilisant, par exemple, les remarquables résultats par lesquels M. Sacerdote (2) a réussi à exprimer les déformations des diélectriques des condensateurs au moyen des paramètres élastiques proprements dits (coefficient d'allongement longitudinal a et module d'Young σ) et des paramètres électro-élastiques k_1 et k_2 (coefficients de variation de la constante diélectrique par traction perpendiculaire ou parallèle aux lignes de force).

Chacune de ces déformations se présente comme la somme de deux déformations partielles dont la première résulte des forces connues qui s'exercent sur un diélectrique électrisé placé dans un champ électrique ; forces mises en évidence par M. Pellat et qui deviennent les pressions électrostatiques pour les portions de surface où le diélectrique est en contact avec les armatures. La deuxième partie de la déformation est attribuable à une modification dans l'état moléculaire de la matière accompagnant la modification de l'éther qui constitue le champ électrique. On conçoit donc toute l'importance qui s'attache à la connaissance et à l'interprétation des coefficients électro-élastique k_1 et k_2.

Toutefois l'analyse de M. Sacerdote se rapporte uniquement au cas où la température du diélectrique demeure constante. Cependant les résultats obtenus subsistent dans le cas général où on la suppose variable. Il suffit pour le voir d'adjoindre aux deux principes de la conservation de l'énergie et de l'électricité, le principe de l'entropie ; il est alors particulièrement simple de faire faire appel, comme l'a montré M. Leduc dans son Mémoire sur le principe de Lenz (1), aux propriétés des fonctions de Massieu. On trouve aisément que les formules établies par M. Sacerdote pour le cas de la température constante conservent toute leur valeur.

III. — Pour en tirer partie au point de vue qui nous occupe il faudrait obtenir pour les forces moléculaires ou atomiques une interprétation électronique. Cette question a été déjà traitée et avec beaucoup d'ampleur par M. Sutherland (2). Cet auteur assimile l'atome à un doublet électrique et essaye d'interpréter la rigidité et les propriétés des diélectriques en admettant que les forces atomiques se réduisent à l'action mutuelle de tels doublets. Mais, outre certaines difficultés sur lesquelles il est inutile d'insister, cette théorie conduirait, pour l'action mutuelle de deux atomes très éloignés, à une force variant en raison inverse de la quatrième puissance de la distance alors qu'on doit s'attendre à retrouver l'action newtonnienne de gravitation. Il est donc mieux indiqué de considérer le modèle d'atome formé par un électron en révolution orbitale à l'intérieur d'une sphère d'électrification positive, pour laquelle on retrouve, aux grandes distances, la loi classique de gravitation (3).

Pour des distances moins considérables le calcul de l'action atomique mutuelle se présente comme particulièrement laborieux. Commencé avant la guerre, il a dû être interrompu depuis bientôt cinq ans ; aussi convient-il d'attendre son complet achèvement pour publier, s'il y a lieu, les résultats à première vue encourageants qu'il a permis d'entrevoir dans le double domaine de la gravitation proprement dite et des actions moléculaires et qui pourraient être rapprochés de certaines conclusions récentes de M. Weiss. D'une manière générale l'action mutuelle de deux atomes paraît se présenter sous la forme

$$\varphi = \frac{A}{d^2} - \frac{B}{d^3} + \frac{C}{d^4} + \ldots,$$

où d représente leur distance réciproque, quelques-uns des coefficients B, C,... pouvant être nuls, circonstance qui peut présenter une grande importance pour l'interprétation de certains phénomènes. Quoi qu'il en soit à cet égard, le principe de la conservation de l'électricité, en tant qu'il est susceptible, par des considérations analogues aux précédentes, d'approfondir la constitution de la matière, paraît devoir être considéré comme le principe fondamental de la théorie électronique.

(1) L. Décombe ; Théorie électronique des phénomènes diélectriques résiduels. *Journal de Physique*, mars 1912.

(2) P. Sacerdote ; Recherches théoriques sur les déformations électriques des diélectriques solides isotropes. *Annales de Physique et de Chimie*, t. xx, 1900, p. 289.

(1) A. Leduc ; Application du Principe de Lenz aux phénomènes qui accompagnent la charge des condensateurs et aux phénomènes de magnétostriction. *Annales de Physique et de Chimie*, t. xxvii, 1912, p. 392.

(2) Sutherland, *Phil. Mag.*, 1909, t. xvii, p. 657 ; 1910, t. xix, p. 1 ; 1910, t. xx, p. 249.

(3) L. Décombe : Théorie électronique de la gravitation. *Comptes rendus*, t. 156, 1913, pp. 940 et 1222.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

Transmission d'énergie électrique de Bourges à l'arsenal américain de Beauvoir

Une des particularités curieuses de cet article est la description d'un poste de transformation à haute tension (30 000 v) installé à l'air libre suivant la mode américaine, le lecteur y trouvera également des indications intéressantes sur le montage des lignes.

Introduction. — Lorsque les Etats-Unis d'Amérique eurent décidé de participer à la guerre contre l'Allemagne, les services techniques de l'armée américaine s'occupèrent de trouver en France l'emplacement d'un arsenal destiné à la construction et à la réparation du matériel de toute nature, que nécessite la guerre moderne. Le choix se fixa sur un terrain situé à Beauvoir, à la limite des communes de Marmagne et de Mehun, dans l'arrondissement de Bourges, à égale distance de cette dernière ville et de Vierzon.

La question de l'alimentation de cet arsenal en énergie électrique fut de suite posée. Le projet de création d'une nouvelle centrale ayant été rejeté, il fut décidé de relier l'arsenal à l'usine génératrice de Mazières, près de Bourges, appartenant à la Société de Production, Transport et Distribution d'Energie et de l'alimenter par cette centrale qui desservait déjà les importants établissements militaires de Bourges.

Le service des forces motrices au Ministère de l'Armement fut chargé d'établir le programme des travaux nécessaires et d'en poursuivre l'exécution.

Importance des installations américaines. — On se rendra compte de l'importance des installations prévues par nos alliés américains, en signalant que la superficie occupée par les bâtiments est de 25 hectares, et que les voies ferrées qui desservent l'arsenal, les dépôts et le camp couvrent une surface de 50 hectares.

Un atelier de cette importance qui devait employer plus de 6 000 ouvriers demandait une alimentation proportionnée en force motrice, et le programme prévoyait pour débuter la fourniture d'une puissance de 500 kw qui devrait atteindre 7 500 kw vers la fin de l'année 1919.

L'énergie devant être livrée entièrement par l'usine de Mazières, on a prévu l'installation dans cette dernière de deux chaudières supplémentaires Babcock, l'une du type terrestre, permettant de produire 8 000 kg de vapeur à l'heure et l'autre du type marine de 16 000 kg de vapeur à l'heure. Un nouveau turbo-alternateur de 5 000 kw fut également commandé, en même temps que l'on augmentait les moyens de production de la centrale de secours de Pignoux des ateliers de construction de Bourges.

Poste élévateur. — Le courant triphasé était produit à 5 000 v ; il ne pouvait être question de transporter à 16 km l'énergie nécessaire à l'arsenal américain. L'élévation de la tension à 30 000 v fut décidée, et le poste de transformation édifié dans un terrain en face de l'usine génératrice, à une distance de 50 m environ de cette dernière.

On adopta le système des sous-stations en plein air, suivant la méthode américaine, et nous croyons intéressant de donner quelques détails sur cette installation, la première de ce genre réalisée en France.

Les transformateurs fournis par l'armée américaine sont du type extérieur. Chaque transformateur est monophasé et d'une puissance de 3 500 kv-A et d'un rapport de transformation de 3 000/30 000, permettant d'obtenir au moyen de trois appareils un groupe triphasé de 10 500 kv-A avec couplage en étoile au primaire et en triangle au secondaire. Des bornes supplémentaires permettent de faire varier jusqu'à 33 000 v la tension secondaire, pour compenser la chute de tension en ligne.

Un quatrième transformateur monophasé de même puissance sert de réserve.

L'appareillage est placé dans des cabines en tôle ondulée, et les transformateurs à l'extérieur dans une sorte de châssis métallique supportant les barres omnibus à 5 000 v et à 30 000 v.

Le poste (fig. 1) se présente donc sous l'aspect d'un vaste rectangle de 27 m sur 8,50 m environ, dont les extrémités sont occupées par deux cabines symétriques de 6,10 m × 6,10 m et l'espace intermédiaire par les quatre transformateurs et les barres omnibus.

La cabine des arrivées à 5 000 v ne contient que les boîtes d'extrémités des six câbles armés à trois conducteurs de 150 mm² chacun, qui servent à relier le primaire des transformateurs au tableau de la centrale, distant de 50 m environ, ainsi que nous l'avons dit plus haut.

Digitized by Google

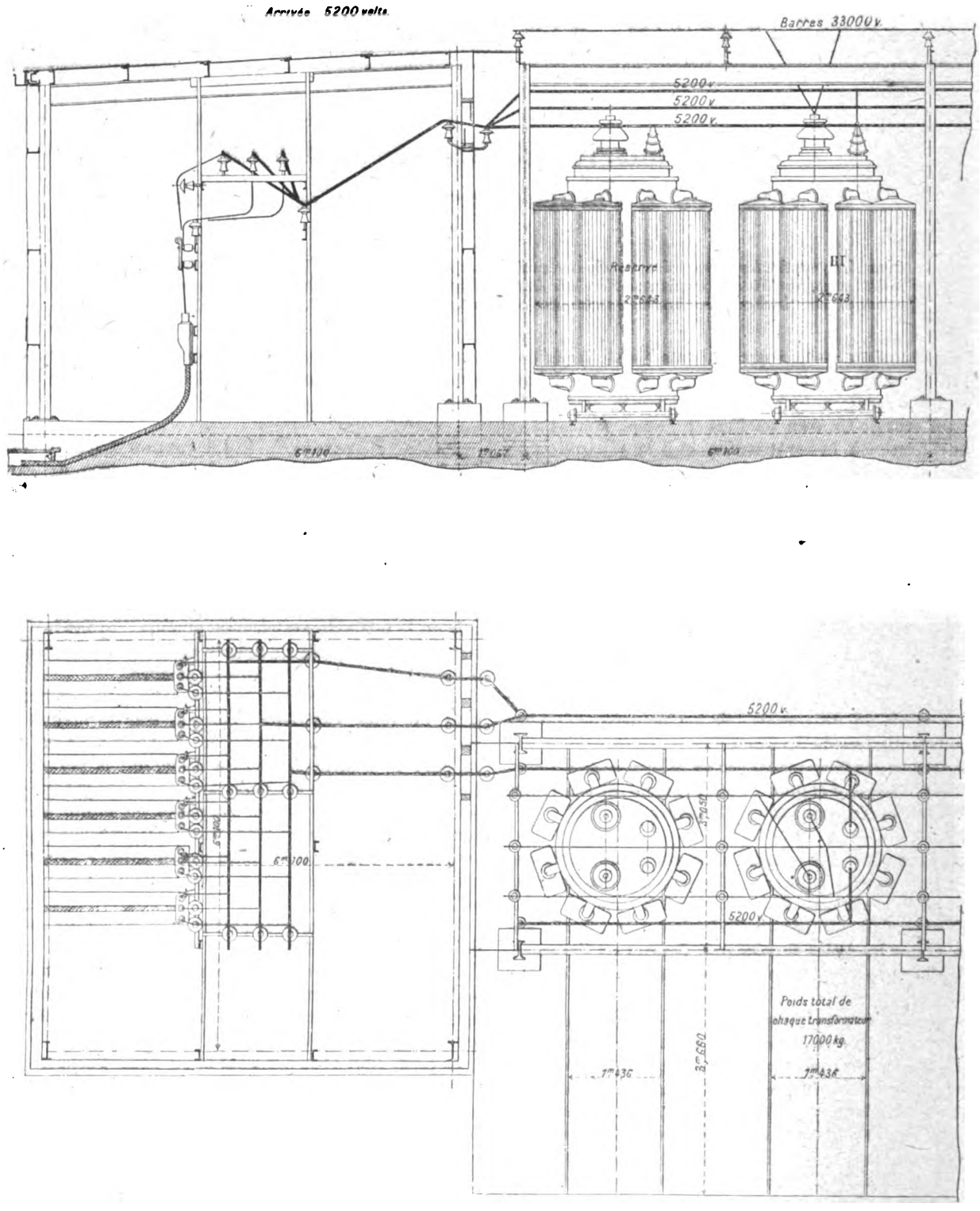
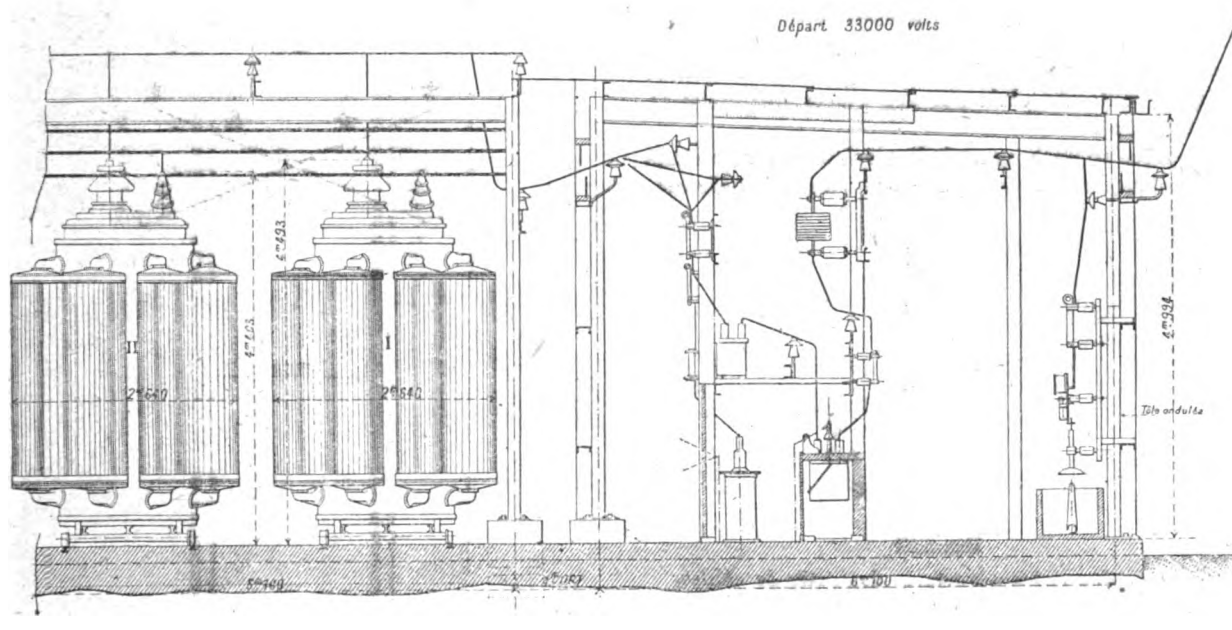
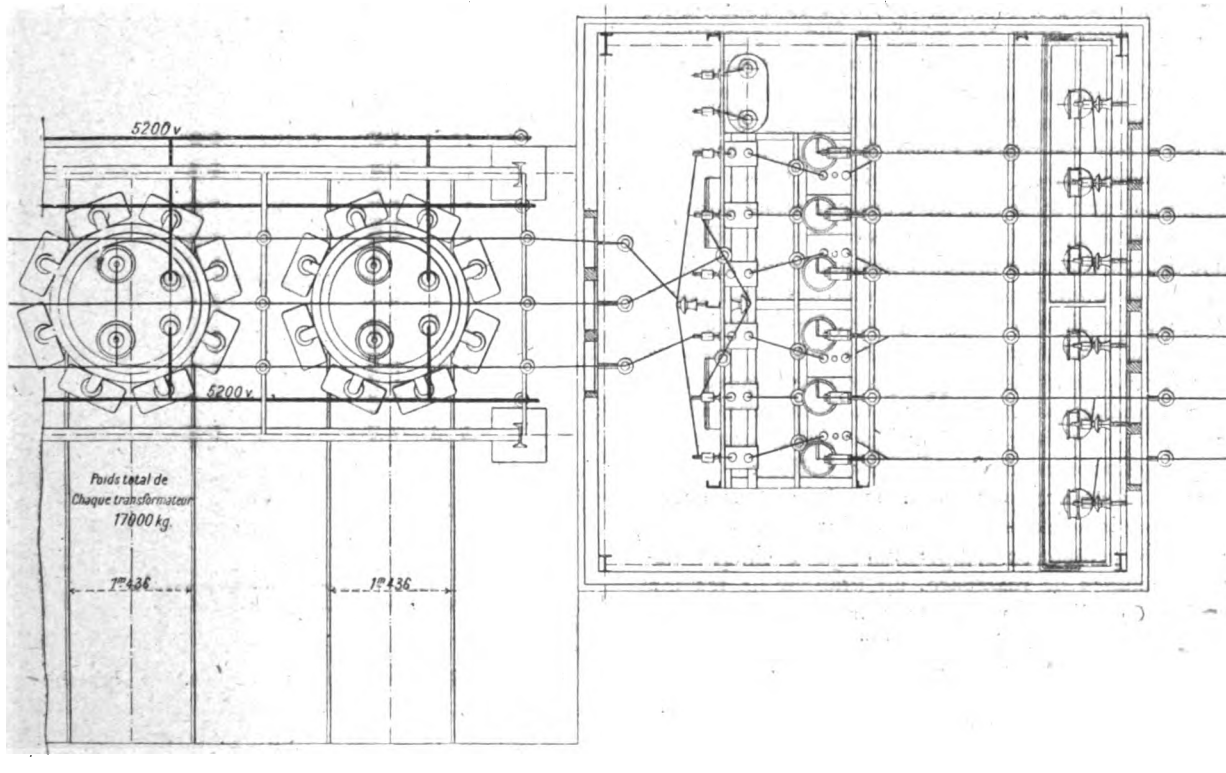


Fig. 1. — Usine de Mazières. —

Digitized by Google





Poste élévateur, 5 200-33 000 volts.

Digitized by Google

Il est à remarquer que le poste ne comporte aucun appareillage à 5 000 v à l'exception des couteaux de sectionnement des câbles. Cet appareillage est entièrement contenu dans le tableau de l'usine génératrice.

Les six câbles servent à alimenter les barres omnibus primaires qui sortent de la cabine par des ouvertures protégées contre la pluie par des glaces disposées en chicane (fig. 2).

Ces barres se prolongent à l'extérieur sur le châssis des transformateurs, qui sont eux-mêmes reliés directement à chaque phase, ainsi qu'à la barre de connexion du point neutre.

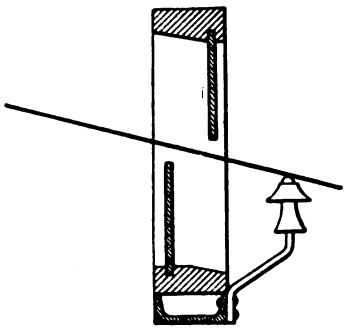


Fig. 2. — Coupe des ouvertures de sortie de câbles avec glaces en chicane.

Le transformateur de réserve ne comporte en temps ordinaire aucune connexion et sa mise en service demande l'enlèvement des câbles de liaison du transformateur hors service pour les installer sur l'appareil de réserve. Cette conception des installations ne s'accorde guère avec les clauses de certains contrats, qui imposent des amendes draconiennes aux fournisseurs d'énergie pour des arrêts de courte durée. A ce sujet, un ingénieur américain disait à l'auteur de cet article : « En France, vous prévoyez que les transformateurs doivent avoir des accidents, en Amérique nous les considérons comme devant toujours marcher normalement. »

Du côté secondaire, les transformateurs sont reliés de la même manière à chaque phase. Les trois barres pénètrent dans la cabine des départs à 30 000 v par trois ouvertures de dimensions appropriées et disposées de la même manière que du côté 5 000 v. Dans cette cabine se trouve l'appareillage des deux lignes de transmission d'énergie qui comprend pour chacune d'elles :

6 couteaux de sectionnement, un disjoncteur tripolaire automatique dans l'huile à action retardée. Les appareils de protection comprennent pour chaque départ : 3 bobines de réactance, un limiteur de tension tripolaire à jet d'eau avec couteau de sectionnement et ampèremètre et enfin, à l'extérieur, 3 parafoudres à cornes avec résistance liquide.

Ligne de transmission d'énergie. — L'énergie est transportée à l'arsenal américain au moyen de six câbles de cuivre de 60 mm² de section chacun, formant deux lignes triphasées. Les câbles sont montés sur des portiques formés de deux poteaux en bois injecté, réunis au sommet par des traverses en chêne carbonyle assemblées en forme de croix de Saint-Andrè (fig. 3). Ces traverses supportent également les isolateurs à

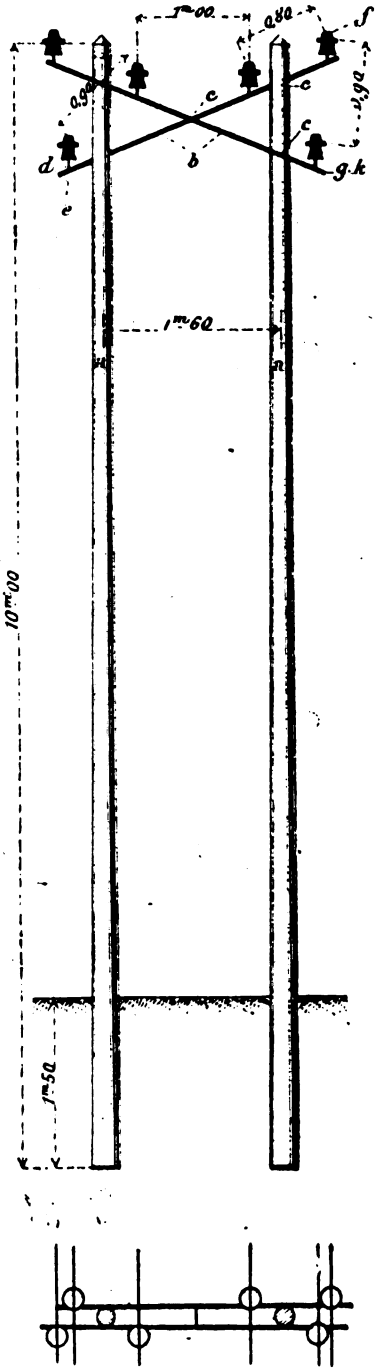


Fig. 3. — Portique pour alignement et angle faible.

30 000 v, sur lesquels sont ligaturés les câbles de la ligne. Les supports sont espacés de 50 m en ligne droite et sont rapprochés dans les angles, pour ne pas dépasser la limite de résistance des poteaux.

Digitized by Google

Poste récepteur. — A l'arsenal américain se trouve le poste abaisseur de tension conçu de la même manière que le poste élévateur; c'est-à-dire que les transformateurs sont à l'extérieur et l'appareillage dans une cabine en tôle ondulée. Le courant à 30000 v est abaissé à 2300 v pour la distribution dans l'arsenal et ensuite à 110, 220 ou 240 pour l'alimentation des moteurs et de l'éclairage.

Conclusion. — L'installation décrite ci-dessus n'a nullement la prétention d'être comparée avec d'autres réalisées avant la guerre. Notamment, le poste élévateur ne peut rivaliser avec les palaces édifiés dans certaines distributions d'énergie. Il nous a paru toutefois utile de signaler cette création de guerre comme constituant bien le type d'installation rapide et économique qui pourrait, semble-t-il, être envisagée dans la reconstitution des régions envahies, où la rapidité d'exécution et de mise en service présente une importance primordiale.

Michel BERTHON,
Ingénieur, Directeur du Secteur électrique réquisitionné de Vierzon.

Revues, analyses et informations

Méthode pour l'essai des transformateurs (1).

On connaît actuellement des méthodes de laboratoire très précises pour la détermination du rapport de transformation et du déphasage des transformateurs. Cependant, ces méthodes nécessitent toutes un appareillage assez spécial (dérivations non inductives soigneusement calibrées, détecteurs très sensibles pour courant alternatif) et sont difficilement utilisables à l'atelier ou dans les stations centrales.

L'auteur décrit une méthode basée sur la comparaison des constantes d'un transformateur à celles d'un second transformateur pris comme étalon.

PRINCIPES GÉNÉRAUX. — La figure 1 permet de comprendre le principe de la méthode. S et X désignent, respectivement, le transformateur étalon et le transformateur inconnu. Les

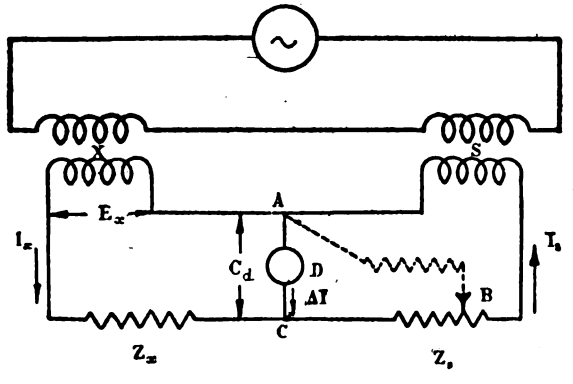


Fig. 1. — Schéma indiquant le principe général de la méthode de comparaison de deux transformateurs.

enroulements primaires sont montés en série et alimentés par une source convenable de courant alternatif Les secondaires sont également montés en série avec une polarité telle qu'ils tendent tous deux à envoyer du courant dans la même direction, le circuit est complété par des impédances Z_s et Z_x. Un détecteur convenable D forme un pont entre les deux transformateurs.

Il est évident que le courant ΔI qui traverse le détecteur (d'impédance négligeable) est égal à la différence vectorielle des courants secondaires I_s et I_x des transformateurs. Il suffira donc de mesurer la valeur absolue et la phase de ΔI pour avoir les données nécessaires à la comparaison des deux transformateurs.

La mesure de ΔI peut être faite, soit directement, en utilisant comme détecteur un des enroulements d'un wattmètre à excitation séparée (*méthode par déviation*), soit indirectement, en utilisant un circuit compensateur additionnel disposé entre A et B, analogue à celui représenté par les lignes pointillées de la figure; par un réglage approprié des inductances, on peut faire passer tout le courant ΔI dans le circuit compensateur; le courant s'annule alors dans le détecteur (*méthode de zéro*).

MÉTHODE DE ZÉRO. — La figure 2 représente le dispositif qui a paru le meilleur. A B C D est un fil à contact glissant

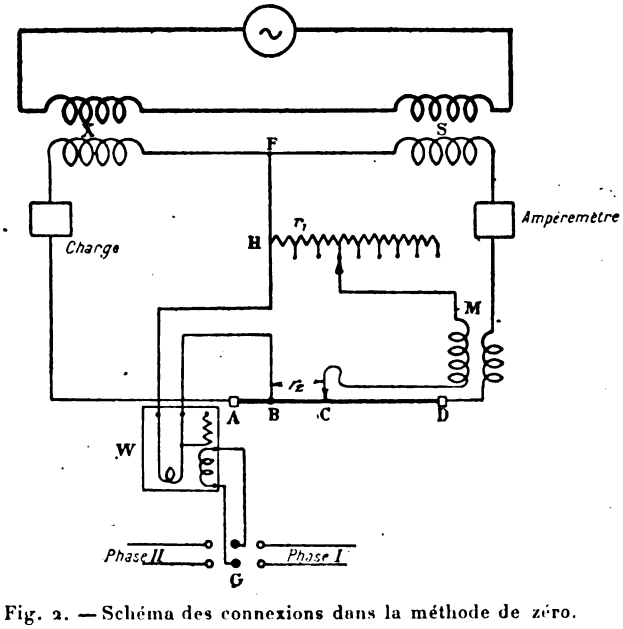


Fig. 2. — Schéma des connexions dans la méthode de zéro.

de résistance totale égale à 0.2 ohm environ. M, désigne le coefficient d'induction mutuelle (600 microhenrys environ) d'un ensemble de deux bobines, la bobine primaire pouvant supporter un courant de 5 A sans subir un échauffement

(1) Francis-B. SILSBEE. *Scientific Papers of the Bureau of Standards*, n° 309, 3 novembre 1917, p. 317-329, 4 fig.

Digitized by Google

exagéré ; r_1 une résistance de 30 ohms environ, capable d'être amenée à plusieurs autres valeurs inférieures, jusqu'à 2 ohms. Comme r_1 entre au dénominateur des équations indiquées ci-dessous, il est bon que la résistance entre F et C, y compris la résistance du secondaire de M, soit un multiple exact de chaque valeur de r_1.

Le détecteur est un électro-dynamomètre à excitation séparée ; la bobine mobile est connectée comme l'indique la figure, et la bobine de courant est excitée par l'une ou l'autre des deux phases, de préférence en quadrature, grâce au combinateur G. On peut d'ailleurs utiliser une forme quelconque de détecteur à courant alternatif sensible à 0,00005 A.

La méthode consiste à régler la position du contact glissant C et la valeur de l'induction mutuelle M, jusqu'à ce qu'on n'observe aucune déviation en fermant G dans l'une ou l'autre direction. Quand l'équilibre est ainsi réalisé, tout le courant différentiel ΔI traverse r_1 et la différence de potentiel entre les points B et F est nulle. Par suite les chutes de tension entre C et F et entre C et B doivent être égales en valeur absolue et en phase. De cette relation on peut déduire les différences des rapports de transformation et des déphasages des deux transformateurs.

En désignant par R_s et R_x les rapports de transformation des transformateurs S et X respectivement, par α_s et α_x les phases correspondantes, l'auteur établit les relations suivantes :

1° Dans le cas où le contact glissant C est à droite de B (fig. 2).

$$\frac{R_x}{R_s} = 1 + a - \frac{b^2}{2} - bc,$$

$$\operatorname{tg}(\alpha_x - \alpha_s) = b + ac.$$

2° Dans le cas où C est du même côté de B que le transformateur X

$$\frac{R_x}{R_s} = 1 - a + a^2 - \frac{b^2}{2} - bc,$$

$$\operatorname{tg}(\alpha_x - \alpha_s) = b - ac - ab.$$

Voici la signification des lettres utilisées

$$a = \frac{r_2}{r_1}, \quad b = \frac{\omega M}{r_1}, \quad c = \frac{\omega L_1}{r_1},$$

r_1 désigne la résistance totale entre C et H à travers r_1 et M, en ohms ; r_2, la résistance du fil à contact glissant entre B et C, en ohms ; L_1 le coefficient d'auto-induction, en henrys, de la bobine secondaire de l'ensemble M ; M le coefficient d'induction mutuelle, en henrys (on l'affectera du signe + si $\alpha_x > \alpha_s$).

Les termes du 2e degré sont habituellement très faibles et l'on a, à $\frac{1}{10}$ pour 100 près,

$$R_x = R_s (1 \pm a),$$

$$\alpha_x = \alpha_s + 3\,438\, b,$$

les angles étant exprimés en minutes.

Méthode par déviation. — Dans le cas où l'on ne dispose pas d'un couple de bobines à induction mutuelle variable, mais qu'on a sous la main une distribution polyphasée, on peut utiliser la méthode par déviation (fig. 3). Le détecteur W doit être un appareil dynamométrique disposé de manière qu'une bobine puisse être alimentée par deux circuits, l'un donnant un courant en phase avec le courant des transformateurs, et l'autre déphasé d'un angle connu (de préférence en quadrature avec le premier). Si l'on désigne par D_i et D_q les déviations en divisions, qui correspondent

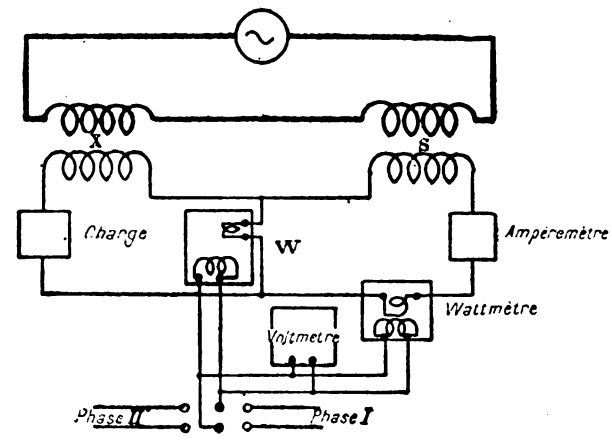


Fig. 3. — Schéma des connexions dans la méthode par déviation.

respectivement aux excitations en phase et en quadrature, on a

$$\frac{R_x}{R_s} = 1 + \frac{KD_i}{I_s},$$

$$\operatorname{tg}(\alpha_x - \alpha_s) = \frac{KD_q}{I_s},$$

K désignant la constante de l'instrument en ampères par division. Si l'on excite le wattmètre en faisant passer un courant I_0 dans la bobine de courant, on a,

$$K = \frac{k}{I_0 R_v},$$

où k désigne la constante en watts par division dans un intervalle déterminé et R_v, la résistance du circuit de tension dans le même intervalle. Si on excite le wattmètre en appliquant une tension E_0 au circuit de tension, on a

$$K = \frac{k}{E_0}.$$

Dans le cas où la seconde phase disponible pour l'excitation n'est pas en quadrature avec la première, mais donne un courant d'excitation en retard d'un angle θ par rapport au courant des transformateurs et produit une déviation D_0, les équations deviennent

$$\frac{R_x}{R_s} = 1 + \frac{KD_i}{I_s},$$

$$\operatorname{tg}(\alpha_x - \alpha_s) = \frac{K}{I_s}\left(\frac{D_0 - D_i \cos\theta}{\sin\theta}\right).$$

Résultats expérimentaux. — Les deux méthodes décrites ci-dessus ont été vérifiées expérimentalement et les résultats obtenus sont représentés sur la figure 4. Les courbes A et B donnent respectivement le rapport de transformation et le déphasage d'un transformateur pour courant alter-

Digitized by Google

natif de 60 p : sec, 25 A, 40 V-A. Les courbes ont été tracées d'après les valeurs fournies par une méthode de laboratoire précise. Les petites croix représentent les valeurs obtenues par la méthode de zéro en prenant comme étalon un transformateur analogue supportant une charge notablement inférieure. Les courbes C et D donnent le rapport de transformation et le déphasage relatifs à un autre transformateur étudié au moyen de la méthode par déviation; les courbes ont encore été tracées d'après les résultats d'une méthode de laboratoire précise et les petits cercles représentent les valeurs fournies par la nouvelle méthode.

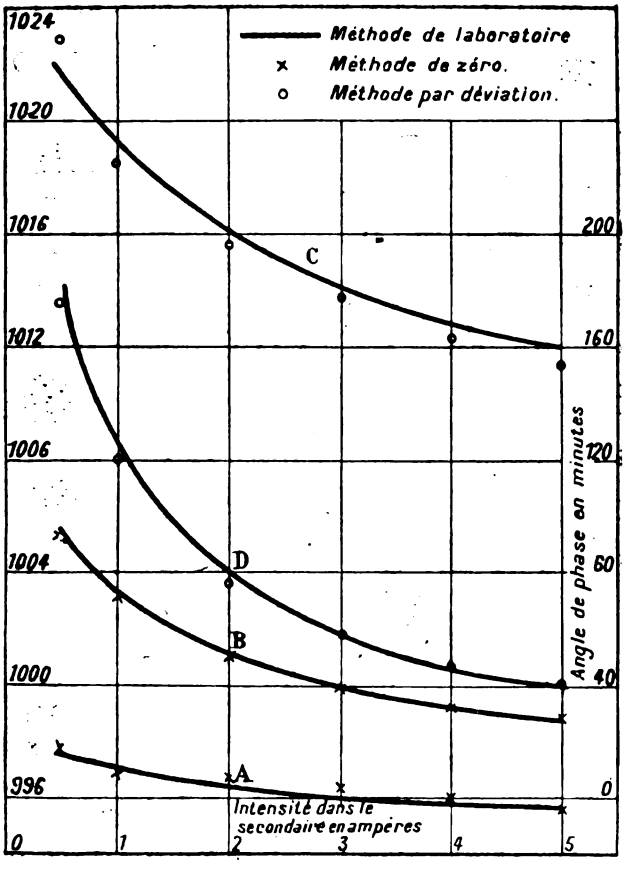


Fig. 4. — Comparaison des résultats expérimentaux fournis par les nouvelles méthodes avec ceux d'une méthode de laboratoire précise.

A. B.

Fonctionnement des moteurs à induction polyphasés (1)

Pour déterminer quel type de moteur à induction convient le mieux pour une application particulière, il est nécessaire de connaître la nature et la grandeur de la charge, les courants de démarrage et de charge permis, la fréquence des démarrages et les caractéristiques relatives des différents types de moteurs. L'auteur compare quelques types les plus usuels de moteurs d'induction polyphasés relativement à différentes méthodes de démarrage.

(1) Justin LEBOVICI. *Electrical World*, 27 avril 1918, t. LXXI, p. 866-869, 3500 mots, 10 fig., 1 tab.

Moteurs à cage d'écureuil. — 1. RÉSISTANCE EN SÉRIE AVEC L'ENROULEMENT PRIMAIRE. — Le couple normal est représenté par :

$$T = \frac{M_2 I_2^2 R_2}{S}, \qquad (1)$$

où M_2 représente le nombre de phases dans l'enroulement secondaire, I le courant secondaire par phase à pleine charge, R_2 la résistance par phase, N le rapport du courant de démarrage au courant de pleine charge et S le glissement. Au démarrage $S = 1$; en posant $I_{\text{démar}} = NI_2$ et substituant dans (1), on a pour le couple de démarrage :

$$T_1 = M_2 N^2 I_2^2 R, \qquad (2)$$

En combinant (1) et (2) :

$$T_1 = SN^2 T. \qquad (3)$$

En supposant un glissement à pleine charge de 4 pour 100 et un courant de démarrage égal à 3 fois le courant de pleine charge,

$$T_1 = 0{,}04 \times 3^2 \times T = 0{,}36\ T,$$

c'est-à-dire qu'il se développera un couple égal environ au tiers du couple normal pour un courant pris à la ligne égal à trois fois le courant de pleine charge.

Quand le démarrage s'effectue avec une résistance en série sur l'enroulement primaire, un moteur à cage d'écureuil ayant un glissement de 4 pour 100 à pleine charge prendra à la ligne un courant égal à au moins 5 fois le courant de pleine charge pour développer le couple de pleine charge. Evidemment cette méthode de démarrage est mauvaise quand on veut avoir un couple égal à deux ou trois fois la valeur normale, mais elle n'affecte pas le fonctionnement du générateur d'une manière aussi sévère qu'un auto-transformateur.

Comme on diminue graduellement la résistance, il ne se produit pas de surintensités analogues à celle qu'on observe dans les moteurs démarrés au moyen d'un auto-transformateur, quand on déplace la manette du plot de démarrage au plot de fonctionnement.

2. AUTO-TRANSFORMATEURS. — Un auto-transformateur, utilisé pour le démarrage des moteurs à cage d'écureuil, réduit la tension aux bornes du moteur et la valeur du courant de court-circuit dans le même rapport. L'enroulement primaire de l'auto-transformateur prendra à la ligne un courant inférieur au courant circulant dans le moteur, la différence étant inversement proportionnelle à la réduction de la tension.

Pour un moteur à cage d'écureuil de 50 ch avec un courant de court-circuit égal à six ou sept fois le courant normal, on obtiendra un courant approximativement égal à trois fois le courant de ligne pour un rapport de transformation voisin de 0,65. Le courant moteur vaut $\frac{3}{0,65} = 4{,}6$ fois le courant normal et pour un glissement de 4 pour 100 à pleine charge, le couple de démarrage sera

$$T_1 = 0{,}04 \times \overline{4{,}6}^2 \times T = 0{,}85\ T$$

Cette valeur est supérieure au double de celle obtenue

Digitized by Google

dans le premier cas, pour le même courant de ligne, en sorte que la méthode ne convient pas quand on a besoin d'un couple de démarrage égal à 2 ou 3 fois le courant de pleine charge et que le courant limite est de 3 fois le courant de pleine charge (1) (fig. 1).

Pour les moteurs de la puissance envisagée (5 à 75 chev.), on utilise le plus souvent le schéma des connexions repré-

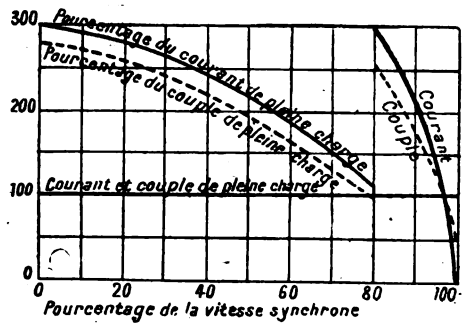


Fig. 1. — Caractéristique de démarrage d'un moteur à cage d'écureuil, pour un rapport de transformation de 0,66.

sentées sur la figure 2. L'auto-transformateur est monté en étoile, le moteur étant un moteur normal monté en étoile ou en triangle. Il n'y a pas de chute appréciable dans la phase 1 entre la borne A et la ligne L_1, mais il existe une chute dans les auto transformateurs entre la ligne L_2 et la borne B et entre la ligne L_3 et la borne C. Le résultat est que les tensions AB, BC et AC appliquées aux bornes du moteur ne sont pas équilibrées, d'où résulte une réduction du couple de démarrage par ampère pris à la ligne comme l'indique la figure 3.

3. Montage en étoile-triangle. — Un montage en triangle de l'enroulement primaire pendant le fonctionnement et en étoile pendant le démarrage équivaut à un rapport de transformation de 0,58 et réduit le couple de démarrage et le courant de ligne au tiers environ de la valeur qu'il aurait à pleine tension. L'objet du dispositif de démarrage est de limiter le courant de ligne à une valeur telle qu'il ne puisse causer des fluctuations de la tension susceptibles d'affecter d'autres appareils dans le même circuit.

Remarques générales. — Les fluctuations de la tension qu'on tâche d'éviter lors du démarrage d'un moteur à cage d'écureuil peuvent tenir soit à ce que le moteur prend un courant excessif à la ligne, soit à ce qu'il a un faible facteur de puissance qui affecte le fonctionnement de l'alternateur et du transformateur. Un auto-démarreur introduit une composante de courant réactif considérable, dû aux fuites de l'auto-transformateur et au courant magnétisant élevé rendu nécessaire par le fonctionnement intermittent pour lequel les auto-transformateurs sont construits. Les auto-transformateurs doivent être surveillés attentivement pour éviter de les brûler, soit par suite d'un trop long maintien de la manette sur le plot de démarrage, soit par suite des fluctuations du courant de la ligne causées par des changements trop rapides. Si les perturbations de la ligne doivent être évitées, il est impossible d'effectuer le démarrage de moteurs à induction par aucune des méthodes précédentes

(1) La figure 1 correspond au cas où l'on a mis la manette sur la position de fonctionnement à 80 pour 100 de la vitesse à pleine charge.

quand il faut un couple de démarrage compris entre 1 ou 1,5 et 3 fois le couple de pleine charge. Pour empêcher les rotors des moteurs à cage d'écureuil de se fixer, lors du démarrage, à une vitesse égale à un sous-multiple de la vitesse de synchronisme, il est nécessaire de rendre la résistance des bagues terminales suffisante pour donner au moteur un couple supérieur au couple résistant. Le couple de démarrage peut être amélioré par l'emploi d'encoches et de barres profondément situées dans le rotor. Mais d'un autre côté, si les barres sont logées trop profondément, les fuites par les encoches du secondaire augmentent, d'où il résulte un faible facteur de puissance de moteur. On ne

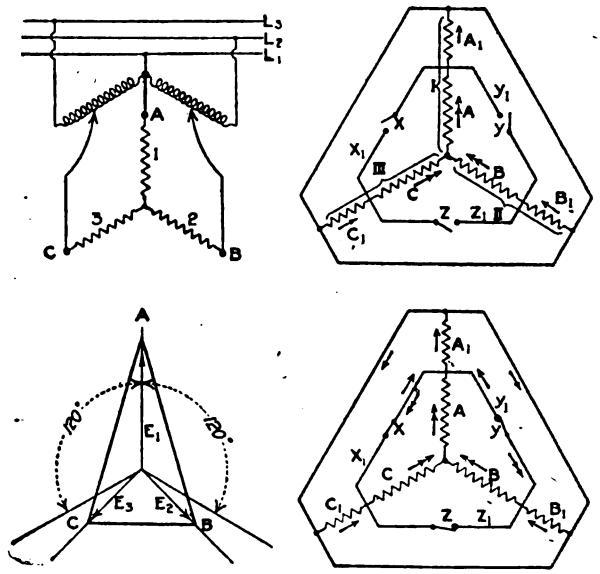


Fig. 2, 3, 4 et 5. — Emploi d'un auto-transformateur monté en étoile pour le démarrage, et déséquilibrage des tensions produites ; connexions du moteur à auto-démarrage dans les conditions de démarrage et de fonctionnement normal.

peut donc tirer avantage d'un rotor à barres profondément situées que jusqu'à un certain point, si les caractéristiques de charge normale de la machine doivent être maintenues.

Moteurs à rotor bobiné. — Résistance dans le secondaire. — On voit par l'équation (2) qu'en augmentant la résistance du secondaire R_2, on augmente le couple de démarrage du moteur. Aussitôt que le couple correspondant à la mise en marche est atteint, une nouvelle augmentation de la résistance réduit le couple de démarrage, car I_2 diminue plus vite que R_2 n'augmente. Le démarrage des moteurs bobinés par l'emploi d'une résistance dans le secondaire est à recommander, car il est possible, avec un opérateur exercé, de maintenir le courant à sa valeur minimum pendant la durée tout entière du démarrage. Le rendement du moteur n'est pas affecté par la résistance de démarrage élevée, car cette résistance est mise hors circuit dès que la machine fonctionne à pleine charge.

Comme cette méthode de démarrage nécessite l'emploi d'un rotor bobiné avec bagues collectrices, porte-balais et balais, elle est plus onéreuse que celle consistant dans l'emploi d'un moteur à cage d'écureuil avec auto-démarreur dans le primaire. D'un autre côté, le dispositif de mise en marche d'un rotor bobiné est d'une plus grande durée, puisqu'on n'a qu'à mettre les éléments de la résistance en

Digitized by Google

court-circuit au lieu d'interrompre le circuit. Il y a moins d'usure des plots du dispositif de commande et le démarrage est plus régulier, mais, si on déplace trop rapidement la manette, il peut se produire des surintensités brusques du courant Afin de réduire au minimum le prix du dispositif complet, on peut utiliser un seul élément de résistance dans chaque phase et le disposer sur le rotor, ce qui élimine ainsi les bagues collectrices et les balais.

Pour la plupart des applications industrielles, fonctionnement des moteurs-générateurs, pompes, soufflerie, manufactures de coton, scieries, etc., la résistance intérieure du secondaire ne doit pas être trop élevée, car le rendement de la machine est affecté directement par les pertes dans le cuivre du secondaire, et un glissement s'élevant à 6 ou 8 pour 100 est considéré comme prohibitif pour de tels moteurs.

Moteurs sans démarreur. — Plusieurs modèles de moteurs sans démarreur ont été proposés; on connaît les dispositifs ingénieux employés par M. Boucherot.

Un moteur auto-démarreur qui fonctionne suivant les principes indiqués par les schémas des figures 4 et 5 a été construit récemment. On peut (fig. 6) donner au couple de

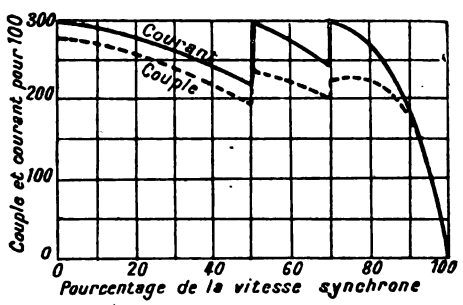


Fig. 6. — Caractéristiques de démarrage d'un moteur

démarrage une valeur quelconque par un choix convenable des résistances et le glissement sous les conditions de fonctionnement normal peut être rendu relativement faible. Une autre caractéristique du moteur est qu'on peut le commander à distance.

En choisissant convenablement le pas de l'enroulement du rotor, on élimine la possibilité d'une vitesse sous-multiple de la vitesse de synchronisme. Si, pour une raison quelconque, la tension d'alimentation faiblit, le moteur s'arrête et les connexions du rotor reviennent automatiquement aux connexions de démarrage; il ne résulte de ce fait aucun dommage pour le moteur. C'est cette propriété qui rend ce modèle de moteur applicable pour une commande à distance.

Avec l'arrangement représenté, tous les enroulements du rotor sont actifs pendant la période de démarrage ainsi que pendant la marche normale, mais non au même degré.

Le dispositif à force centrifuge qui permet de changer les connexions du démarrage à la marche normale est simple et robuste; il y a seulement trois commutateurs tournants à fermer.

Dans les machines plus puissantes, les enroulements A_1, B_1, C_1 (fig. 4 et 5) sont successivement interrompus et mis en court-circuit. La figure 10 représente le fonctionnement d'un moteur de 75 ch ayant l'enroulement du rotor divisé comme l'indiquent les figures 7, 8 et 9. Le couple est égal à

$$M_2 N^2_2 I^2_2 (R'_2 + R''_2),$$

R'_2 et R''_2 désignant respectivement les résistances de A, B, C et de A_1, B_1, C_1..

Comparaison de la consommation d'énergie et de l'échauffement durant la période d'accélération. — L'auteur a rassemblé un certain nombre de données relatives à la con-

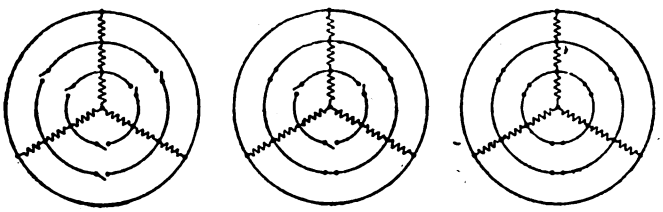


Fig. 7, 8 et 9. — Dispositif de l'enroulement du rotor dans les moteurs de grande puissance pour auto-démarrage.

sommation d'énergie et à l'échauffement des moteurs à cage d'écureuil et du moteur auto-démarreur, le courant de démarrage étant limité à trois fois le courant de pleine charge. Pour permettre la comparaison, l'auteur suppose que le poids total à mettre en marche est concentré sur un volant fixé sur l'arbre.

Dans le cas envisagé le rendement à pleine charge et le courant sont sensiblement les mêmes pour les deux moteurs, quoique la répartition des pertes soit différente.

Grâce au fait que le prix de l'auto-transformateur est éliminé dans les moteurs sans démarreur, il est possible, avec la même dépense, de donner à cette machine des

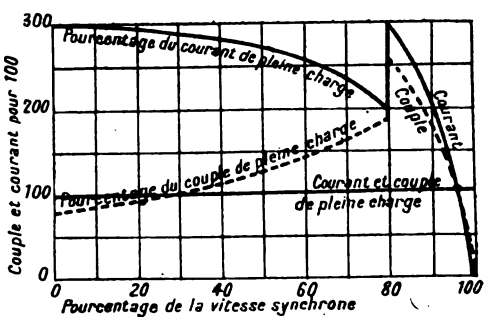


Fig. 10. — Fonctionnement du moteur dont le démarrage s'effectue suivant les principes schématisés dans les figures 7, 8 et 9

dimensions plus notables qu'au moteur à cage d'écureuil, d'utiliser une résistance du rotor plus élevée, une résistance du primaire plus faible, et d'obtenir des pertes plus faibles dans le noyau, ce qui permet le même rendement global, mais de meilleures caractéristiques de démarrage.

Des données rassemblées, il semble résulter que le moteur à cage d'écureuil accompagné du démarreur consomme 2,73 fois la même énergie que le moteur sans démarreur pour amener la même charge à pleine vitesse. Un moteur à bagues collectrices, convenablement manipulé, réalisera une économie encore plus grande, mais le moteur sans démarreur est d'un prix de revient moins élevé, d'un fonctionnement et d'un entretien plus simples.

Un moteur à cage d'écureuil dont les barres et les bagues sont convenablement proportionnées donnerait presque les mêmes résultats pendant la période de démarrage, mais le glissement à pleine charge serait élevé, le rendement à pleine charge faible, et l'échauffement de la machine

Digitized by Google

en fonctionnement continu serait prohibitif. L'application de tels moteurs se limite aux ascenseurs et autres applications intermittentes.

A. B.

Spécifications types pour lampes à incandescence électriques (tungstène et carbone) (1).

L'achat des lampes à incandescence pour le compte du gouvernement américain avait amené les fabricants et les ingénieurs de l'État à élaborer certaines spécifications auxquelles devaient satisfaire les lampes. Ces spécifications ont été, par la suite, l'objet de plusieurs revisions et même quelques représentants du Bureau of Standards ont été admis à participer aux discussions contradictoires. La dernière réunion date du mois de décembre 1917 et fait l'objet de la huitième édition actuelle. Ces spécifications types ayant été soumises à des études approfondies, le Bureau of Standard n'a pas hésité à les publier dans l'intérêt général. Nous avons pensé qu'une traduction de cette circulaire hâterait peut-être l'avènement de l'unification tant désirée des prescriptions relatives aux lampes ou que, dans tous les cas, elle rendrait service aux fabricants français, d'une part, et à la commission de l'Eclairage de la Société française des Électriciens, d'autre part. La circulaire comprend deux sections principales : I. Spécifications générales ; II. Annexe des lampes.

I. — **Spécifications générales.** — I. — Conditions générales. — Les lampes à incandescence à fournir, seront des lampes neuves et devront se conformer aux spécifications développées ci-dessous.

Les clauses de ces spécifications s'appliquent uniquement aux lampes mentionnées ici et non pas à d'autres, à moins d'un accord écrit entre l'acheteur et le fabricant. Ces spécifications ne s'adressent pas aux lampes dépolies ou colorées, ni aux lampes autres que celles qui ont une ampoule en verre clair ordinaire, à moins d'une convention spéciale. Les lampes qui doivent être dépolies ne sont examinées qu'après le dépolissage, mais ne peuvent pas être remplacées, dans les essais de durée, par des lampes dépolies.

Les essais seront réalisés aux frais de l'acheteur, suivant les procédés techniques éprouvés ; toutefois, si les premiers essais et les examens sont faits à l'usine, le fabricant sera tenu de fournir tout le nécessaire en équipement, aide, courant et facilités pour leur réalisation. Il a le droit d'assister aux essais de ses lampes et de les contrôler ; il a droit aussi à une copie des résultats et de prendre connaissance, en temps opportun, de tous les rapports relatifs aux essais de ses lampes.

II. — Définitions et lampes normales. — a) *Unités électriques.* — Les unités employées ici sont celles en vigueur depuis le 1er janvier 1911.

b) *Unité d'intensité* (Unit of Candlepower). — L'unité d'intensité est la bougie internationale conservée au Bureau of Standards de Washington (courant continu).

c) *Mesures photométriques* (Photometric Measure). — La comparaison des lampes sera basée sur le flux total exprimé en lumens ou leur intensité sphérique. Pour les lampes à vide, les lumens au début de leur mise en service ou leur intensité sphérique pourra se déduire des mesures de l'intensité moyenne horizontale à l'aide d'un facteur de réduction sphérique initial donné dans les annexes des différentes classes de lampes.

On admettra une tolérance pour les variations qu'éprouve le facteur de réduction sphérique dans les essais de durée de toutes les lampes.

Pour les lampes dont les filaments donnent, pour le rapport initial de l'intensité moyenne sphérique à l'intensité moyenne horizontale, un nombre différent de ceux inscrits dans les annexes, on multipliera les intensités horizontales mesurées par un facteur de réduction sphérique initial déterminé par le Bureau of Standards ou toute autre autorité agréée par les deux parties ; mais les valeurs trouvées pour les essais de durée devront être équivalentes à celles consignées dans les annexes.

d) *Quorum des lampes d'essai* (Test quantity). — Il comprendra 5 pour 100 de chaque lot de lampes triées de même classe, même forme, même puissance et mêmes intervalles de tension ; ce nombre ne sera jamais inférieur à 10 lampes.

L'opérateur considérera comme lot de lampes à trier tout emballage ou groupe d'emballages contenant des lampes de même classe, même forme, même puissance et mêmes intervalles de tension.

Les lampes qui doivent constituer le groupe d'essai seront prises dans chaque emballage formant le lot, en quantité proportionnelle à leur nombre dans cet emballage et seront ensuite désignées comme lampes d'essai.

e) *Classe* (class). — C'est le terme commercial qui permet de distinguer les lampes suivant leur nature. Les présentes spécifications s'adressent à deux classes de lampes : lampes au tungstène et lampes au carbone.

f) *Modèle* (style). — Le modèle est fixé par les dimensions du culot. Il n'y a que deux modèles de lampes : le grand modèle qui comprend tous les spécimens pourvus de culots autres que les culots miniature, et le modèle miniature. Les présentes spécifications ne s'adressent qu'aux lampes de grand modèle.

g) *Forme* (Type). — La forme d'une lampe dépend de la configuration de son ampoule : forme cylindrique, forme ronde, forme poire.

h) *Grandeur de l'ampoule* (Size of Bulb). — Elle est déterminée par le diamètre maximum de l'ampoule.

La forme et la grandeur de l'ampoule sont respectivement représentées par une lettre et un nombre qui exprime le diamètre maximum en $\frac{1}{8}$ de pouce (S-17, ampoule cylindrique de $\frac{17}{8}$ pouces de diamètre ; G-18 1/2, ampoule ronde de $\frac{37}{16}$ pouces de diamètre ; PS-25, ampoule pyriforme de $\frac{25}{8}$ pouces de diamètre).

i) *Puissance de la lampe* (Size of Lamp). — On l'exprime en watts nominaux ou bougies nominales.

j) *Culots* (Base). — Il y a quatre sortes de culots : miniature, candelabre, medium et mogul. Les culots à vis medium sont appliqués à toutes les lampes englobées dans les présentes spécifications à moins que les culots Mogul soient désignés dans les annexes.

k) *Intervalles de tensions* (Voltage Ranye). — Intervalles dans lesquels sont comprises les tensions appliquées aux lampes. Les spécifications actuelles comprennent deux intervalles, 110 à 125 v et 220 à 250 v.

l) *Tension nominale ou courant nominal* (Ruted Voltage

(1) *Circular of the Bureau of Standards*, 13 avril 1918, n° 13, 14 pages.

Digitized by Google

or Rated Current). — C'est la tension ou le courant inscrits sur l'estampille.

m) *Lampes normales.* (Regular lamps). — On appellera lampes normales celles dont la construction est conforme à la lampe type du fabricant. Il y a des lampes normales de tout modèle, mais les présentes spécifications ne concernent que les lampes normales de grand modèle.

III. — Caractéristiques mécaniques et physiques. — a) *Ampoules.* — Toutes les ampoules doivent avoir la même grandeur et la même forme ; elles doivent être claires, propres, exemptes de bulles et de taches nuisibles au service.

b) *Culots.* — Les culots à vis médium étanches, seront employés sur toutes les lampes, à moins d'indication contraire ; les collerettes, quand il y en a, doivent être isolées de la douille filetée (1). Les culots seront solidement et soigneusement mastiqués sur l'ampoule au moyen d'un ciment à l'épreuve de l'humidité. Les collerettes et les douilles seront faites en laiton de bonne qualité.

c) *Filaments.* — On exigera qu'ils soient homogènes sans défauts, ni taches, ni décolorations nuisibles au service ; on les disposera bien symétriquement dans l'ampoule.

d) *Conducteurs d'entrée* (Leading-in wires). — Les conducteurs qui pénètrent dans l'ampoule seront, d'un côté, soigneusement attachés aux extrémités du filament et, d'autre part, soudés aux pastilles du culot qui forment contact avec le support, mais sans excès de soudure. Eviter aussi toute projection de soudure sur les filets.

e) *Vide.* — Les lampes à vide devront montrer la lueur propre à chaque classe, à chaque grandeur, à chaque intervalle de tensions quand on les soumet à la décharge d'une bobine d'induction.

f) *Généralités.* — Les lampes seront bien construites et exemptes de tous défauts et toutes imperfections de façon qu'elles soient capables de supporter d'une façon satisfaisante les conditions du service d'éclairage.

Toutes les lampes devront être conformes aux types normaux du fabricant, en ce qui concerne la grandeur et la forme des ampoules, la forme des filaments et les constantes (électriques et photométriques).

g) *Marques* (Marking). — Une ou plusieurs estampilles apposées sur l'ampoule ou le culot de chaque lampe indiqueront ses constantes et le nom du fabricant ou sa marque de fabrique.

IV. — Manière de procéder aux examens et aux essais du début. — a) *Choix des lampes pour les premiers essais.* — Sur chaque lot de lampes, on prélèvera au hasard le nombre d'échantillons qui serviront à la détermination des caractéristiques physiques et mécaniques des lampes, des limites individuelles telles qu'elles sont prévues dans les annexes et, finalement, de la durée de vie et de la conservation du pouvoir éclairant.

Le fabricant assistera aux premiers essais effectués sur les lampes au tungstène qui n'auraient pas une durée d'allumage ou un « vieillissement » suffisant pour atteindre un régime stable au point de vue des watts absorbés ou de l'intensité lumineuse émise. Il s'arrangera pour donner un vieillissement approprié aux lampes ainsi choisies pour les premiers essais relatifs aux limites de fonctionnement.

(1) Nous adoptons, entre la douille, le culot et le support, la distinction proposée par M. Ch. Zetter, *R. G. E.*, 6 juillet 1918, t. IV, p. 11, note.

b) *Refus pour défauts mécaniques et physiques.* — Les échantillons tirés d'un lot de lampes subiront un examen physique ; après cet examen, si le nombre des lampes dénotant de la malfaçon ou des défauts incompatibles avec un bon service ou avec une des clauses quelconques des présentes spécifications est égal ou supérieur au pourcentage ou au quorum nécessaire pour motiver un refus, le lot entier d'où proviennent les lampes sera refusé sans autre essai, à moins que les annexes individuelles ne prévoient une autre solution.

c) *Refus pour spécifications défectueuses* (Rejection for Defective Rating). — Les lampes seront essayées au régime nominal de tension, courant et intensité lumineuse, conformément aux prescriptions de leurs annexes et, après ces essais, si le nombre de lampes d'un lot tombant au-dessous des limites indiquées est égal ou supérieur au pourcentage ou au quorum nécessaires pour motiver un refus dans les conditions prévues par les annexes, le lot tout entier d'où proviennent les lampes sera refusé, à moins que les annexes individuelles ne prévoient une autre solution.

d) *Choix des lampes pour les essais de durée.* — On groupera d'abord les paquets de 100 lampes et moins de façon à constituer des lots ne dépassant pas 250 unités. Dans chacun de ces lots et dans chacun des paquets normaux contenant plus de 200 unités, on choisira au moins un exemplaire qui semblera se rapprocher le plus de la moyenne de l'ensemble des échantillons. Cet exemplaire s'appellera la lampe pour essai de durée et c'est lui qui subira ces essais. Un second exemplaire servira de réserve en cas d'accident. Les lampes pour essai de durée seront conduites conformément aux prescriptions de leurs annexes respectives.

V. — Durée et conservation du pouvoir éclairant. — a) *Tension de l'essai de durée.* — A toutes les lampes montées sur la rampe d'essai de durée on appliquera les tensions (ou courants) correspondant aux essais de consommations spécifiques par bougie sphérique indiquées dans les tables sous le titre « fonctionnement moyen », ou aux essais de consommations spécifiques par bougie sphérique convenus telles que les donnent les annexes.

b) *Mesures d'intensité lumineuse.* — Pendant les essais de durée des lampes à filament de carbone, on mesurera l'intensité lumineuse ou le courant, à la tension d'essai, à peu près au bout de cinquante heures et ensuite toutes les cent heures jusqu'à une diminution de 20 pour 100 de sa valeur initiale, ou jusqu'à la rupture si cet accident se produit dans cet intervalle. Pour les lampes au tungstène, on fera les mesures d'intensité lumineuse et de courant, à la tension d'essai, au bout de 1/20 environ de l'essai de durée correspondant encore aux consommations spécifiques normales par bougie sphérique et ensuite à des intervalles tels qu'après cinq mesures, on constate une diminution de 20 pour 100 de l'intensité, ou jusqu'à la rupture si elle se produit dans ce laps de temps.

c) *Vie d'une lampe d'après les essais* (Test life). — Le nombre d'heures d'allumage que peut supporter une lampe jusqu'à ce que son pouvoir éclairant soit tombé à 80 pour 100 de sa valeur initiale, ou jusqu'à sa rupture, si cet accident se produit dans cet intervalle, constitue la durée de vie d'après les essais. Il ne sera pas tenu compte, dans le calcul de la moyenne, des lampes brisées accidentellement, mais non brûlées, pendant les essais.

Dans le cas où quelques exemplaires seraient brisés ou endommagés avant la fin des essais, on assignerait à leur paquet d'origine la valeur moyenne de toutes les autres

Digitized by Google

lampes de même classe, même puissance, etc..., essayées dans les mêmes conditions.

Dans tous les essais ayant en vue la détermination expérimentale de la durée et de l'intensité lumineuse, tout paquet ou groupe de paquets intéressé aux résultats des essais sera représenté par un échantillon au moins dans ces essais.

d) *Réglage de la tension.* — Des voltmètres enregistreurs de précision fourniront des diagrammes de la variation de tension du réseau pendant les essais de durée.

Ces variations ne doivent pas dépasser ± 0,25 pour 100 de la tension nominale.

VI. — Refus et résiliation de contrat. — a) *Conditions pour le refus des lampes.* — On pourra refuser toutes les lampes qui ne satisfont pas aux spécifications mécaniques et physiques ou aux limites initiales.

Tout groupe de lampes ayant subi un examen initial peut être refusé pourvu que ce groupe soit représenté, dans l'essai de durée, par au moins quatre exemplaires dont la durée moyenne donnée par les essais a été inférieure à celle indiquée dans leurs annexes respectives ; toutefois, pour les lampes à filament de carbone, on ne prendra que 90 pour 100 de cette valeur.

b) *Retour des lampes refusées.* — Les lampes qui n'auront pas été utilisées et qui auront été refusées conformément à ces spécifications seront retournées aux fabricants et à leurs frais, par conséquent sans aucune rétribution. Toutes les lampes mises en service seront considérées comme acceptées.

Tableau A. — *Tolérances initiales, Spécifications, Vie moyenne.*

Puissance de la lampe (*a*) en watts	Désignation de l'ampoule	Consommation spécifique initiale par bougie sphérique (*b*) en watts	Consommation spécifique initiale correspondante par bougie horizontale moyenne en watts	Tolérances initiales sous la tension nominale : pour les watts par bougie sphérique en pour 100	Tolérances initiales sous la tension nominale : Pour les watts totaux en pour 100	Vie moyenne Essai de durée en heures jusqu'à une diminution de 20 pour 100 du pouvoir éclairant au régime des watts nominaux par bougie sphérique en heures
Valeurs applicables aux lampes au tungstène à vide, à ampoules claires et de 110 à 125 v						
10	S — 17	1,67	1,30	8	10	1 000
15	S — 17	1,51	1,18	6	8	1 000
25	S — 19	1,41	1,10	6	8	1 000
40	S — 19	1,36	1,06	6	8	1 000
50	S — 19	1,33	1,04	6	8	1 000
60	S — 21	1,31	1,02	6	8	1 000
100	S — 30	1,26	0,98	6	8	1 000
Valeurs applicables aux lampes au tungstène à vide, à ampoules claires et de 220 à 225 v pour fonctionnement multiple à plusieurs régimes.						
25	S — 19	1,65	1,30	9	12	1 000
50	S — 19	1,49	1,18	9	12	1 000
100	S — 30	1,39	1,10	9	12	1 000
Valeurs applicables aux lampes au tungstène à gaz, à ampoules claires, de 110 à 125 v, pour fonctionnement à plusieurs régimes.						
75	PS—23	1,09		15	18	1 000 (*e*)
100	PS—25	1,00		12	18	1 000 (*e*)
150	PS—25	0,92		12	15	1 000 (*e*)
200	PS—30	0,86		12	15	1 000 (*e*)
300 (*d*)	PS—35	0,78		12	15	1 000 (*e*)
400 (*d*)	PS—40	0,82		12	12	1 000 (*e*)
500 (*d*)	PS—40	0,78		12	12	1 000 (*e*)
750 (*d*)	PS—52	0,74		12	12	1 000 (*e*)
1 000 (*d*)	PS—52	0 70		12	12	1 000 (*e*)

(*a*) Facteurs de réduction sphérique initial moyen : pour lampes de 110 à 125 v, 78 pour 100 ; pour lampes de 220 à 250 v, 79 pour 100.
(*b*) Sur avis du fabricant, quelques-unes ou même, toutes les consommations spécifiques initiales, par bougie sphérique indiquées ci-dessus peuvent être augmentées d'une quantité qui ne doit jamais dépasser 5 pour 100, ou diminuées d'une quantité qui ne doit jamais dépasser 10 pour 100. Toutefois les tolérances initiales et les essais de durée spécifiés dans l'annexe restent applicables aux lampes fonctionnant à ce nouveau régime.
(*c*) Au gré de l'acheteur les essais de durée peuvent être réalisés à un taux spécial de watts par bougie sphérique après entente entre le fabricant et l'acheteur.
(*d*) Lampes à culot Mogul.
(*e*) Bien que l'on puisse prévoir, pour les lampes à gaz comprises dans cette annexe, une vie moyenne de 1 000 heures, avant que leur pouvoir éclairant soit tombé à 80 pour 100 de sa valeur initiale, cependant, jusqu'à plus ample informé, on ne refusera pas des lampes qui auront fonctionné 1 000 heures avant que leur pouvoir éclairant soit tombé au-dessous de 75 pour 100 de sa valeur initiale.

Digitized by Google

c) *Résiliation de contrat.* — Il y a aussi lieu de résilier un contrat pour les lampes fournies d'après ces spécifications quand les valeurs moyennes des durées de vie déterminées à un moment quelconque sont inférieures à celles indiquées dans les annexes; toutefois, pour les lampes à filament de carbone, on ne prendra que 90 pour 100 de ces valeurs. Cette tolérance de 10 pour 100 est admise parce que les spécifications initiales actuelles sont probablement des valeurs limites.

Toutes les spécifications qui précèdent sont générales pour les lampes au tungstène (ou Mazda) et les lampes au carbone; si l'on y joint les annexes relatives à chacune de ces classes, on aura leurs spécifications complètes.

II. — **Annexes aux lampes.** — Annexe A. — *Lampes au tungstène.* — Cette annexe s'adresse aux lampes au tungstène, de grand modèle, à ampoule claire, fonctionnant entre les intervalles de 110 à 125 v et de 220 à 250 v Cette annexe, jointe aux spécifications générales concernant les lampes électriques à incandescence, constitue le code complet des lampes dont la puissance et la nature des ampoules sont indiquées ci-dessous.

Quorum nécessaire pour justifier un refus. — Tout paquet ou lot de lampes essayé en fabrique pourra être refusé si 20 pour 100 et plus des lampes essayées n'est pas conforme aux limites initiales si 20 pour 100 ou plus des lampes essayées présentent des défauts physiques.

Tout paquet ou lot de lampes essayé d'autre part pourra être refusé si 30 pour 100 et plus des lampes essayées sont défectueuses.

Toutes les lampes mises hors d'usage doivent avoir été grillées sous charge et n'avoir subi aucun choc pour rester comprises dans l'essai de durée et pour entrer en ligne de compte dans la réduction de la vie moyenne utile.

Les lampes brisées pendant leur manipulation et, en général, quand elles ne sont pas sous charge n'entreront pas en ligne de compte dans la réduction de la vie moyenne utile.

Les lampes à gaz subiront l'essai de durée dans la position verticale, la pointe en bas.

Les estampilles imprimées sur les lampes indiqueront leur puissance nominale en watts et leur tension nominale en volts.

Annexe B. — *Lampes au carbone.* — Cette annexe s'adresse aux lampes au carbone de grand modèle, normales à ampoule claire, fonctionnant de 110 à 125 v et de 220 à 250 v. Cette annexe, jointe aux spécifications générales concernant les lampes électriques à incandescence, constitue le code complet des lampes dont la puissance est indiquée ci-dessous (1).

Tableau II. — *Tolérances initiales, spécifications et vie moyenne.*

Puissance de la lampe (*a*) en watts	Intensité moyenne horizontale initiale à la tension nominale en bougies	Tolérances initiales sous la tension nominale — Tolérances pour la puissance lumineuse individuelle	Tolérances pour la puissance lumineuse moyenne	Tolérances pour les watts individuels	Tolérances pour les watts moyens	Vie moyenne Essai de durée en heures jusqu'à une diminution de 20 pour 100 du pouvoir éclairant au régime de 3,70 watts par bougie sphérique
Valeurs applicables aux lampes normales au carbone, à ampoules claires, à boucle simple et de 110 à 125 v.						
20	4,8	± 1 bougie	± 0,6 bougie	± 12 pour 100	± 6 pour 100	300
25	8,1	Id.	Id.	± 10 pour 100	± 5 pour 100	300
30	9,3	Id.	Id.	Id.	Id.	350
50	16,8	± 7,5 pour 100	± 2,5 pour 100	± 5,5 pour 100	± 2,5 pour 100	450
60	20,2	Id.	Id.	Id.	Id.	420
Valeurs applicables aux lampes normales au carbone, à ampoules claires, à boucle double et de 220 à 250 volts.						
35	8,0	± 2 bougies	± 1 bougie	± 15 pour 100	± 7,5 pour 100	120
60	16,3	± 15 pour 100	± 7,5 pour 100	± 12 pour 100	± 6 pour 100	160

(*a*) Facteur de réduction sphérique moyen, 82,5 pour 100.

Remarque. — Tensions exceptionnelles. Il est recommandé de faire tout le possible pour éviter la commande de lampes aux tensions nominales de 110, 111, 121 à 125 v inclusivement et aussi de 220 v.

Quorum nécessaire pour justifier un refus. — Tout paquet ou lot de lampes essayé en fabrique pourra être refusé si 20 pour 100 ou plus des lampes essayées ne se conforment pas aux limites initiales et si 20 pour 100 ou plus des lampes essayées présentent des défauts physiques.

Tout paquet ou lot de lampes essayé ailleurs pourra être refusé si 30 pour 100 ou plus des lampes essayées montrent les défauts signalés ci-dessus.

Tensions exceptionnelles. — Pour les lampes comprises dans cette annexe d'une tension nominale de 110, 120 à 125 v, de même que pour celles de 220 v, on pourra dou-

(1) Bien qu'il semble désirable de conserver cette annexe particulière aux lampes au carbone, il faut cependant attirer l'attention sur le fait que l'emploi de ces lampes ne devient avantageux que dans des conditions exceptionnelles. L'économie de courant réalisée par la substitution de lampes au tungstène aux lampes au carbone compense d'ordinaire très largement leur prix d'achat plus élevé. Toutefois, en faisant cette substitution, on sera souvent bien inspiré en n'utilisant pas dans toute leur plénitude les avantages de la réduction du courant mais bien plutôt on se contentera d'une légère économie de courant, de façon à intensifier l'éclairage.

Digitized by Google

bler le pourcentage des écarts limites prévus à la tension nominale correspondant à leur puissance.

Pour les lampes d'une tension nominale comprise entre 120 et 125 v inclusivement, les valeurs des essais de durée seront réduites à 95 pour 100 de celles données dans le tableau B.

Les lampes comprises dans cette annexe subiront les essais de durée dans la position horizontale et à la tension correspondant à une consommation spécifique initiale de de 3,70 w par bougie sphérique, sans un affaissement excessif du filament.

Les estampilles imprimées sur les lampes indiqueront leur puissance nominale en watts et leur tension nominale en volts.

B. C.

Four Davis à cuire les électrodes (1).

On sait que la bonne qualité des électrodes, employées pour les usages électrométallurgiques, dépend d'abord de leur fabrication et de la pureté des matières premières utilisées, mais ensuite de leur cuisson. La durée d'une électrode et par suite son rendement dépendent essentiellement de la cuisson qui donne à la pâte l'homogénéité, la résistance pour éviter les fentes et la casse, sans parler de la résistivité nécessaire.

L'opération de la cuisson se pratique dans des fours spéciaux à gazogènes, divisés en un certain nombre de chambres dans lesquelles on place des récipients ou cassettes en matière réfractaire contenant les électrodes. Dans chaque chambre la température doit être maintenue uniforme pendant plusieurs jours avec un écart maximum de 50 à 60° sur toute la hauteur de la cassette : cette température est définie par la fusion d'une montre Seger. En outre, la cuisson doit être assez lente pour que les électrodes soient cuites uniformément de la surface au cœur et restent parfaitement homogènes.

Avant la guerre, les Allemands avaient la spécialité des fours à cuire et cela tenait surtout à la qualité des matériaux réfractaires employés à leur construction. On sait que les Allemands avaient fini par faire croire au monde entier qu'ils étaient passés maîtres dans la fabrication des produits réfractaires, parce qu'eux seuls disposaient en Allemagne de matières premières incomparables. Ce n'était qu'un bluff, mais en fait, on se reposait mollement en France et en Angleterre sur cette opinion pour ne pas chercher à imiter les Allemands.

La guerre est intervenue et il a bien fallu de chaque côté de la Manche résoudre ce problème des produits réfractaires, nécessaires à la métallurgie et à l'électrométallurgie. Après quelques tâtonnements on y est arrivé brillamment, et aujourd'hui les Allemands peuvent garder leurs briques, nous avons aussi bien sinon mieux que cela à notre service.

(1) *Journal du Four électrique et de l'Electrolyse*, 15 janvier 1919, p. 11-12.

Des fours à cuire les électrodes ont été construits de divers côtés, nous citerons spécialement le type de la Davis Furnace Co, de Diamond Foundry, Luton, Angleterre, qui a été installé aux Usines Hadfield (Hecla Works), qui produisent plus de 30 000 t d'acier électrique par an, avec une consommation moyenne de 5 kg d'électrode par tonne d'acier.

Les électrodes employées dans les fours à acier ayant parfois 500 mm de diamètre, et étant cuites verticalement, les fours à cuire sont de grandes dimensions. La chambre de chauffe du four Davis mesure 2,75 m de large, 1,83 m de long et 2,75 m de hauteur et elle peut contenir 6 électrodes de dimensions allant jusqu'à 560 mm de diamètre. La garniture du four est faite en briques d'Ecosse, les parois qui ont 230 mm d'épaisseur, sont consolidées par des fers profilés et des tirants. Dans le but d'enlever les électrodes qui peuvent être cassées par accident pendant le chargement, ainsi que pour effectuer de légères réparations, on a prévu une porte d'accès supplémentaire de 610 mm × 610 mm. Cette porte est montée sur charnière dans le bas, de manière à pouvoir être rabattue quand elle est ouverte, elle est maintenue fermée par un crochet à écrou.

Le dessus du four ou plaque de couverture est divisé en trois parties formant compartiments, et de plus prévoyant l'insertion et le support des électrodes, cette plaque de couverture sert aussi comme chauffeur de l'air comburant avant son arrivée aux brûleurs.

Les brûleurs employés sont du type soufflé, marchant soit au gaz de ville, soit au gaz pauvre livré à une pression d'environ 50 mm avec une légère pression d'air supplémentaire de 150 mm d'eau. L'embouchure des brûleurs, qui demande à être renouvelée de temps en temps, est formée d'un bloc réfractaire qui peut être remplacé dans de bonnes conditions.

Le four comporte six brûleurs munis chacun d'un raccord de gaz de 38 mm et d'une arrivée d'air de 64 mm. Des robinets séparés contrôlent le gaz et l'air, mais l'arrivée de gaz est fixée d'une façon permanente par un tampon de réglage. Trois brûleurs sont placés de chaque côté du four et la flamme débouche dans une chambre de combustion ou tunnel au-dessous de la chambre de chauffe, de dimensions et de forme qui assurent la combustion complète du gaz et de l'air hors de la chambre de chauffe. Les brûleurs sont fixés alternativement de chaque côté, pour assurer une égale distribution de chaleur.

L'air comburant est soufflé à l'aide d'un ventilateur dans le tuyau de 100 mm de diamètre fixé au-dessus du four et à travers les canalisations secondaires de 76 mm de diamètre jusqu'au réchauffeur. Du réchauffeur cet air est conduit aux brûleurs par des tuyaux de 64 mm de diamètre recouverts de matière isolante.

Ce four peut être établi avec une chambre de chauffe divisée en deux compartiments par une cloison centrale, et par une modification du système de chauffage, on peut cuire en même temps des électrodes n'exigeant pas la même température de cuisson.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

L'Oxhydrique française.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 1er FÉVRIER 1919.

Durant l'exercice, les bénéfices bruts industriels ont été de 912 863,11 fr desquels il faut déduire 50 483,72 fr d'amortissement et 79 489,52 fr pour le déménagement de Beauval et Paris à Malakoff. Les bénéfices restent donc à 782 889,87 fr.

Les amortissements pour brevets, études et recherches, les participations bénéficiaires du personnel et les gratifications, la publicité laissent un solde disponible de 679 955,94 fr.

Sur ce solde, il est versé 362 152,99 fr au fonds d'amortissement; 15 890,15 fr à la réserve légale; 10 pour 100 aux actions (5 pour 100 au coupon n° 16, net 4,55 fr et 5 pour 100 au coupon n° 17, net 4,55 fr); au Conseil d'administration 24 661,92 fr et 50 000 à amortissements pour prix exceptionnels.

Le report à nouveau est de 14 004,97 fr.

BILAN AU 30 SEPTEMBRE 1918.

Actif.

		fr
Immeubles, matériel et outillage :		
Usines de Beauval, Villeurbanne et Malakoff :		
Au 1er octobre 1917.....	1 864 713,91	
Exercice 1917-18. Augmentation.	1 055 774,55	
	2 920 488,46	
Amortissements avant bilan... 50 483,72		
Déménagement de Beauval et Paris à Malakoff... ..... 79 489,52	129 973,24	
		2 790 515,22
Usines Saint-André et Charny.....		831 914,75
Frais de constitution.....		1 »
Frais d'augmentation de capital.....		6 017,40
Brevets, études et recherches et modèles.....		8 277,23
Créances douteuses.....		1 »
Marchandises et approvisionnements.....		1 023 609,46
Débiteurs divers.....		104 252,10
Banques, caisse et effets à encaisser.....		1 377 082,11
Portefeuille (Rente française).....		417 923,02
Clients.....		379 731,31
Amortissements avant bilan.....		50 483,72
Déménagement de Beauval et Paris à Malakoff.		79 489,52
		7 068 397,84

Passif.

	fr
Capital.....	3 500 000 »
Réserve légale.....	69 183 »
Stabilisation de dividendes.....	60 000 »
Fonds d'amortissement.....	1 599 596,63
Primes sur actions.....	6 913,65
Dû sur immeubles.....	98 962 »
Fournisseurs et créditeurs divers.....	586 485,96
Retraites ouvrières (contribution patronale)...	291,16
Coupons à payer.....	157 348,24
Report exercice 1916-1917.....	39 254,09
Bénéfices bruts industriels 1917-1918.....	912 863 11
Intérêts payés par nouveaux actionnaires.....	37 500 »
	7 068 397,84

Compagnie générale française et continentale d'Éclairage.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 27 JANVIER 1919.

La situation de la Compagnie s'est notablement améliorée au cours de cet exercice. Cette amélioration a pour cause principalement : l'abaissement du prix des charbons, l'augmentation du prix du coke et des autres sous-produits; enfin, l'acceptation par la plupart des villes éclairées par la Compagnie d'un relèvement du prix du gaz. Seules, les villes de Grasse et d'Alençon n'ont pas accepté d'arrangement amiable et sont poursuivies en instance devant les tribunaux administratifs.

La meilleure situation de la Compagnie lui a permis de reprendre le service des intérêts de ses obligations, qui avait été suspendu depuis septembre 1916. Dans le cours de l'exercice, elle a pu payer un des coupons arriérés.

Les Compagnies gazières, dont la Compagnie générale possède des actions, ont, pour la plupart, éprouvé de graves dommages du fait de la guerre.

La Compagnie française d'Éclairage et de Chauffage par le gaz a continué à ne pouvoir donner de dividende.

Les Compagnies réunies, Gaz et Electricité de Lisbonne, ont dû fermer leur usine à gaz faute de charbon. Le service de leurs obligations a dû être suspendu après celui de leurs actions.

La Compagnie générale d'Éclairage et de Chauffage par le gaz a continué à subir les difficultés de l'invasion, tant pour ses usines en Belgique que dans le nord de la France, tandis que les usines italiennes subissaient les difficultés économiques et industrielles du fait du ravitaillement presque impossible en charbon de la péninsule.

La Compagnie du Gaz français d'Amiens a dû arrêter son usine à partir de la fin de mars 1918. Cette ville a subi

Digitized by Google

des bombardements violents, au cours desquels deux des gazomètres de l'usine ont été détruits, ainsi que la cheminée des fours, ses ateliers, bureaux et magasins. La canalisation de ville a beaucoup souffert ; il faudra encore deux ou trois mois pour que cette usine puisse reprendre sa fabrication.

La Compagnie du Gaz et d'Electricité de Melun, la *Société du Gaz de Condé-sur-Noireau* et la *Société normande du Gaz de Flers* n'ont pas distribué de dividende.

La Compagnie d'électricité de Moulins a distribué 3 pour 100 à ses actionnaires.

Le bénéfice brut de l'exercice est de 699917,99 fr, dont 572897,21 fr proviennent du bénéfice des usines, le reste représente les intérêts et dividendes des titres en portefeuille et intérêts en compte.

Le bénéfice net, une fois les charges, amortissements et intérêts déduits, est de 38566,80 fr.

En y ajoutant le report précédent 114183,87 fr, il reste un solde créditeur de 152750,67 fr qui est reporté à nouveau.

BILAN AU 30 JUIN 1918.

Actif.

	fr
Usines à gaz :	
Premier établissement	3 134 572,07
Approvisionnements, caisses, débiteurs	1 058 001,77
Secteurs électriques :	
Premier établissement	2 452 684,60
Approvisionnement, caisse, débiteurs	258 120,68
Portefeuille, valeurs de Compagnies de Gaz et diverses	8 727 854,06
Impôts recouvrables	116 732,37
Mobilier	1 »
Débiteurs divers	2 338 358,92
	18 086 38,47

Passif.

	fr
Capital-actions	10 000 000 »
Capital-obligations	4 982 500 »
Réserve légale	642 023 87
Créditeurs divers	1 572 747,12
Réalisations de portefeuille	291 777,90
Réserve extraordinaire	444 585,91
Profits et pertes :	
Reliquat de l'exercice 1916-1917	114 183,87
Bénéfice net de l'exercice 1917-1918	38 566,80
	18 086 385,47

Compagnie anonyme continentale pour la Fabrication des Compteurs à gaz et autres Appareils.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE EXTRAORDINAIRE DU 25 JANVIER 1919.

La Compagnie pour faire face aux dépenses très importantes qui lui sont imposées pour la reconstitution de ses approvisionnements en vue de la reprise des affaires, a été amenée à chercher à renforcer sa trésorerie. Elle a donc convoqué ses actionnaires pour leur proposer d'augmenter le capital par tranches successives pour le porter à 10 000 000 fr.

D'autre part, en vue de faciliter la diffusion des titres parmi sa clientèle, elle a proposé de dédoubler les actions anciennes et d'émettre éventuellement en conséquence des actions nouvelles au taux nominal de deux cent cinquante francs.

La première tranche à émettre comprendrait 10 000 actions nouvelles de 250 fr avec une prime de soixante-deux francs cinquante.

Les actionnaires actuels auraient droit à souscrire, à titre irréductible, une action nouvelle de 250 fr pour une action de 500 fr.

Les souscriptions à titre réductible ne seraient pas admises.

Le délai de souscription serait de 20 jours après l'approbation par l'Assemblée générale.

Les actionnaires auraient la faculté, soit de libérer entièrement les actions au moment de la souscription, et dans ce cas ils auraient droit au coupon d'octobre 1919, soit de libérer les nouveaux titres aux époques suivantes :

125 fr à la souscription.

62,50 fr au 10 avril 1919.

125 fr au 10 octobre 1919.

Dans ce dernier cas, les actionnaires n'auraient pas droit au coupon d'octobre 1919, mais seulement à celui d'avril 1920.

Les résolutions suivantes ont été adoptées à l'unanimité :

Première résolution : l'Assemblée générale extraordinaire approuve la substitution de deux actions de 250 fr pour une action ancienne de 500 fr.

Deuxième résolution : l'Assemblée générale extraordinaire approuve l'émission d'une première tranche de 10 000 actions nouvelles de 250 fr au taux de 312,50, c'est-à-dire avec 62,50 de prime.

Les anciens actionnaires auront le droit de souscrire à titre irréductible une action nouvelle de 250 fr pour une ancienne de 500 fr.

Les souscriptions à titre réductible ne seront pas admises.

Les titres pourront être souscrits jusqu'au 19 février.

Les actions entièrement libérées à la souscription bénéficieront du coupon d'octobre 1919, celles libérées par fractions n'auront droit qu'au coupon d'avril 1920.

Troisième résolution : l'Assemblée générale extraordinaire autorise le Conseil dans le cas où il le jugerait utile, pour le développement ultérieur des affaires de la Société, à porter le capital social à 10 000 000 de fr, par l'émission de 10 000 actions nouvelles nominales de 250 fr et lui donne tous pouvoirs pour fixer les conditions d'émission de cette dernière tranche.

Digitized by Google

SECTION DE LÉGISLATION

Les intérêts des effets moratoires

Arrêt de la Cour de Cassation, 7 janvier 1919. Lehideux et Cie contre Blum et Lévy.

C'est la première fois, à notre connaissance du moins, que la Cour suprême statue sur la question des intérêts des effets moratoires. Comme toute Société peut avoir un débiteur qui ne paie pas, la question a un intérêt pratique.

La Cour suprême vient de trancher une question qui repose sur un intérêt des plus minimes ; mais la décision a une portée doctrinale des plus intéressantes. Il s'agit de savoir si le tiers porteur d'un effet de commerce peut demander le paiement des intérêts jusqu'au jour du paiement, même si personnellement il n'a pas rempli les conditions obligatoires du décret du 15 avril 1915, mais si un tiers porteur, avant lui, les a remplies.

Les faits sont les suivants : Le 24 juin 1914, un sieur Grosset, mégissier, tirait sur Blum et Lévy, fabricants de chaussures, une traite à l'échéance du 10 août 1914, et le 30 juin, il l'escomptait à Lehideux et Cie qui, un mois après, la réescomptaient à la Banque de France ; il y avait donc successivement deux porteurs, et c'est pendant que l'effet était entre les mains du dernier que, la guerre étant survenue, le décret du 9 août 1914, prorogeait d'abord les échéances, et que celui du 29 août 1914 assujettissait à un intérêt de 5 pour 100 au profit du porteur les effets prorogés: personne n'ignore les termes de ce décret qui sont ainsi conçus (art. 6) : « Ceux qui bénéficient des prorogations antérieures sont de plein droit redevables d'un intérêt calculé dans les conditions suivantes : Pour les sommes visées aux articles 1 et 2 (c'est-à-dire pour les valeurs négociables, et le paiement des fournitures faites entre commerçants, antérieurement au 4 août 1914), à l'exception des sommes représentées par des chèques au taux de 5 pour 100, à dater du lendemain du jour où le paiement était primitivement exigible. Pour les sommes visées à l'article 3 (c'est-à-dire pour toutes avances faites antérieurement au 1er août 1914, en compte ou à découvert) à partir du lendemain du jour de l'échéance ou du jour où la dénonciation pouvait être faite, et à défaut d'échéance stipulée, à partir du 1er août 1914. Le taux est pour chaque période de prorogation, le taux appliqué par la Banque de France, à la date initiale de ces périodes, etc.) »

Il est évident qu'en fixant un intérêt dû de plein droit, le décret n'avait d'autre intention que d'exciter le débiteur à se libérer, pour s'éviter le paiement de l'intérêt supplémentaire.

Mais le rédacteur de ce décret paraît avoir complètement oublié que, pour payer un effet, il faut évidemment savoir entre quelles mains il se trouve, et le débiteur, même de très bonne foi, désireux de se libérer, pouvait être dans l'impossibilité de le faire, faute de ce renseignement indispensable.

Cette lacune a été comblée seulement par le décret du 15 avril 1915, dont l'article 2 est ainsi conçu : « Le porteur d'un effet de commerce prorogé à nouveau, en vertu des dispositions de l'article précédent, est tenu d'aviser avant le 31 mai 1915 le débiteur qu'il est en possession dudit effet et que le paiement peut en être effectué entre ses mains. Cet avis pourra être constaté, soit par le visa signé et daté du débiteur sur l'effet de commerce, lors de la présentation, soit par une lettre recommandée. Faute par le porteur d'accomplir ces formalités, les intérêts à 5 pour 100 établis à son profit par le décret du 29 août 1914, cesseront de courir à partir du 31 mai 1915. Toutefois ces formalités ne sont pas nécessaires si le porteur peut prouver que le débiteur a été antérieurement avisé. »

Aucune disposition n'est plus logique ou plus sage. Le tiers qui ne se fait pas connaître est négligent : il est juste qu'il n'ait pas droit aux intérêts ; celui qui se fait connaître y a légitimement droit, puisqu'il a présenté l'effet, ou écrit une lettre recommandée, et si le débiteur préfère, en ne payant pas, se procurer de l'argent au 5 pour 100, ce qui est toujours agréable, il aurait mauvaise grâce au moment du paiement à refuser l'intérêt.

Ajoutons que quelques tiers porteurs — et, parmi ceux-ci, il faut évidemment citer la Banque de France — n'avaient pas attendu le décret de 1915, et lui avaient donné une application anticipée, tant ils trouvaient logique de prévenir le débiteur de la présence de l'effet dans leur caisse. C'est ainsi que le 10 décembre 1914, la Banque de France, par une lettre recommandée, avait prévenu Blum et Lévy de la détention par elle de l'effet tiré sur eux.

Néanmoins le 2 octobre 1915, ceux-ci n'hésitèrent point à payer le montant de leur dette à Grosset, leur tireur initial, qui accepta ce paiement sans difficulté, oubliant qu'il avait mis en circulation la traite représen-

Digitized by Google

tant sa dette, entre les mains de Lehideux et Cie. Blum et Lévy avaient, en payant directement Grosset, l'intention de dire à la Banque de France, quand celle-ci leur présenterait la traite, qu'ils n'avaient plus aucune dette à acquitter vis-à-vis du tireur, et que le papier était devenu sans objet. Pratiquement, ce n'est pas à la Banque de France qu'ils durent tenir ce propos ; car pour satisfaire patriotiquement au désir maintes fois exprimé par le gouvernement, de voir la Banque déchargée du papier qui l'encombrait, Lehideux et Cie avaient eux-mêmes retiré leur effet de ses mains.

Ils purent donc assigner directement en paiement, les sieurs Blum et Lévy, leur demandant en justice, deux sommes : 1° Le capital de la traite, soit 225 fr. ; 2° les intérêts de celle-ci depuis le lendemain du jour de l'échéance, 11 août 1914, jusqu'au jour du paiement.

Le Tribunal de Commerce de Paris, par jugement du 17 avril 1917, avait dans une phrase très concise, mais très précise, donné un excellent motif pour appuyer la condamnation qu'il prononçait sans hésiter, en ce qui concerne le capital. Lehideux et Cie étaient tiers porteurs réguliers, ils devenaient donc créanciers du montant de la somme prescrite sur l'effet, et pouvaient la réclamer sans se soucier du fait que, en dehors d'eux, et sans penser à l'effet créé, le débiteur et le créancier originaires s'étaient arrangés pour le paiement. Blum et Lévy doivent payer le tiers porteur, sauf à eux à réclamer ce paiement au tireur, contre lequel, évidemment ils gardaient tout recours. On doit, par conséquent, louer sans réserve, les termes du jugement ainsi conçu : « attendu qu'il ressort des débats et des documents de la cause, que ledit effet a été créé par le sieur Grosset en représentation d'une fourniture de marchandises par lui faite à Blum et Lévy le 20 juin 1914 et dont ceux-ci ont reçu facture, fin de mois, portant l'avis : valeur 10 avril, qu'ils ne justifient quant à ce, avoir fait aucune protestation ni réserve ; qu'il y avait donc provision à l'échéance de la traite ; attendu que si Blum et Lévy, pour résister à la demande, excipent de ce qu'ils ont, en octobre 1915, acquitté directement entre les mains de Grosset le montant de ladite facture, il convient de remarquer qu'ils ne sont pas recevables à opposer à Lehideux et Cie, tiers porteurs régulièrement saisis de de bonne foi, les exceptions ou compensations qu'ils seraient en droit d'invoquer contre le tireur à l'égard duquel, d'ailleurs, ils conservent leur recours ; que, dans ces conditions, Blum et Lévy qui ne justifient d'aucune compensation opposable à Lehideux et Cie, doivent être tenus de payer à ceux-ci la somme de 225 fr, montant dudit effet. »

Mais en ce qui concerne les intérêts, il admet une thèse qu'il convient de qualifier au moins d'étrange ; il divise les intérêts qui pourraient être dus par Blum et Lévy à Lehideux et Cie, en deux périodes ; la première allant du 1er août 1914 jusqu'au 31 mai 1915 ; et l'autre allant du 31 mai 1915 jusqu'au jour du paiement.

Et il déclare que, bien à tort, les banquiers Lehideux et Cie réclament les intérêts jusqu'au jour du paiement. Sans doute, dit-il, la Banque de France a bien averti Blum et Lévy, le 10 décembre 1914, qu'elle avait entre les mains l'effet tiré sur Grosset — mais Lehideux et Cie n'ont eux-mêmes rien fait, et ils ne sauraient bénéficier de l'avis donné par la Banque — ils ne se trouvent donc pas dans la situation prévue par l'article 2 du décret du 15 avril 1915, des tiers porteurs qui ont prévenu le tiré de la présence entre leurs mains de l'effet créé ; il faut donc leur appliquer la déchéance incluse dans ledit article 2 ainsi libellé : « Faute par le porteur d'accomplir ces formalités, les intérêts de 5 pour 100, institués à son profit par le décret du 29 août 1914, cesseront de courir à partir du 31 mai 1915. » Et au surplus, pourquoi condamnerait-on Blum et Lévy, d'avoir payé Grosset sans exiger la présentation de la traite ? ils ont commis une imprudence qui les exposait à payer deux fois : mais on est libre de commettre une imprudence ; la Société Lehideux et Cie qui n'a prévenu personne ne peut imputer qu'à elle-même de n'avoir pas à toucher les intérêts postérieurement à la date du 31 mai 1915.

Et bien, nous ne croyons pas que l'on puisse méconnaître plus gravement que le tribunal, en cette circonstance, les principes élémentaires sur lesquels repose le décret du 15 avril 1915, les facilités qu'il donne au débiteur, et les obligations que, dans l'intérêt de ce débiteur, il met à la charge du tiers porteur.

Le décret du 15 avril 1915 était-il même nécessaire ? Le gouvernement se devait-il rigoureusement à lui-même d'imposer au tiers porteur de se faire connaître au tiré, avant une date fixe (31 mai 1915) et de sanctionner d'une déchéance, c'est-à-dire d'une perte d'intérêt, l'oubli de cette prescription ?

Nous n'hésitons pas à dire que, dans bien des cas, le droit commun aurait suffi : une loi du 9 thermidor an III autorise de plano tout débiteur d'une lettre de change, si le porteur ne s'est pas présenté dans trois jours, à déposer la somme chez le receveur de l'enregistrement (aujourd'hui la Caisse des dépôts et consignations, et dans les départements la Trésorerie générale), à en retirer un récépissé de dépôt, qu'il se bornera, au jour où le tiers porteur daignera se présenter, à lui remettre : à celui-ci de faire le nécessaire pour le retirer, et pour percevoir l'intérêt qu'alloue le détenteur légal des fonds à celui pour le compte duquel il les détient. Il aurait à la rigueur suffi à Blum et Lévy qui, par la facture, ne pouvaient ignorer la création d'une traite (mention écrite : valeur au 10 août 1914) de faire le dépôt des fonds pour n'être plus tenus d'aucune obligation en ce qui concerne les intérêts, quel que fut le tiers porteur.

Mais il faut considérer que, si la plupart des négociants ignorent les lois courantes, ils doivent ignorer à plus forte raison les lois datant de thermidor an III ; aussi le gouvernement a-t-il voulu faciliter le rôle du débiteur, en mettant à la charge du tiers porteur, qui est généralement, sinon la Banque de France, au moins un banquier plus au courant des textes de loi qu'un négociant ordinaire — l'obligation de se révéler.

Le décret du 29 août 1914 n'en faisait aucune mention ; le décret postérieur du 27 septembre 1914, modernisait la loi de thermidor an III, en rappelant au débiteur —

Digitized by Google

sans lui en faire une obligation — qu'il pouvait se libérer d'une façon complète, en versant « le montant de la dette à la Banque de France contre un récépissé payable à vue qui sera remis au porteur lors de la présentation de l'effet ». C'était supprimer toute difficulté possible au sujet des intérêts dont le décret du 29 août 1914 avait, un mois auparavant, proclamé le principe.

Le décret du 15 avril 1915 va plus loin : on peut même dire qu'il renverse les rôles, oblige le tiers porteur à faire le nécessaire pour toucher ses intérêts jusqu'au jour du paiement, ne lui permet de bénéficier des dispositions du décret du 29 août 1914 que jusqu'au 31 mai 1915, s'il oublie de remplir les formalités de révélation de son existence, et permet, dans ce dernier cas, à celui qui a reçu la contre-partie de l'effet de bénéficier de cette contre-partie, sans payer d'intérêt. Aussi, quelques commentateurs notamment Wahl (*Revue trimestrielle du Droit civil*, 1915, p. 701) l'ont très vivement critiqué. Il n'en est pas moins vrai que le décret a eu pour but de supprimer bien des difficultés, dans le cas notamment où le débiteur, bien qu'ayant reçu provision, ignore complètement si le créancier a tiré sur lui (Thaller, *Traité élémentaire de Droit commercial* 6e d. Revue par Percerou 1916 n° 1514, p. 762).

Mais il y a un correctif au caractère trop draconien que pourrait avoir l'obligation précitée, mise à la charge du tiers porteur, et il ne faut pas oublier cette phrase : « toutefois ces formalités ne sont pas nécessaires si le porteur peut prouver que le débiteur a été antérieurement avisé ». Il serait ridicule et bien en dehors des usages commerciaux d'imposer une formalité rigoureuse, un acte écrit quand il résulte, à l'évidence, que le but que s'est proposé le législateur est rempli, et quand notamment, par toutes les circonstances de la cause, il est avisé que le débiteur a connu la création d'un effet et l'endroit où il peut le trouver pour le payer, qu'il n'en demande pas plus.

La Cour de Cassation statuant sur ce jugement ne s'est appuyé que sur le texte du décret du 15 avril 1915, dans les mots précités : « toutefois les formalités ne sont pas nécessaires si le porteur peut prouver que le débiteur a été antérieurement avisé ». Il aurait été intéressant de savoir ce qu'elle aurait pensé du système qu'avait esquissé le pourvoi et qui consistait à invoquer les principes de créance, et ceux de la subrogation légale : la Banque de France en retirant à Lehideux et Cie son effet, lui avait cédé tous ses droits, non seulement au capital de l'effet de commerce, mais encore à l'accessoire, c'est-à-dire aux intérêts qu'elle avait conservés ; de plus, on pouvait invoquer encore l'article 1251 du Code civil, d'après lequel sa subrogation s'accomplit de plein droit au profit de celui qui paie, étant tenu avec d'autres et pour d'autres, avait intérêt à acquitter sa dette. Tel est précisément le cas des banquiers placés dans la situation de Lehideux et Cie, c'est-à-dire de ceux qui ont commencé par endosser eux-mêmes l'effet à la Banque de France, porteur au 31 mai 1915, puis ont repris cet effet par une contre-opération ultérieure. Ils étaient tenus avec et pour le tiré, puisqu'ils étaient garants de l'effet prorogé. Ils doivent donc être considérés comme subrogés dans tous les droits du porteur contre le tiré, notamment dans ceux que la Banque de France avait conservés par une notification régulière faite au tiré dans les délais légaux.

La Cour de Cassation a préféré ne s'appuyer que sur le décret du 15 avril 1915, dire qu'il résultait des faits indiscutés de la cause que les tirés Blum et Lévy, prévenus par un tiers autre que Lehideux et Cie, n'avaient pas à reprocher à ces derniers de ne pas les avoir eux-mêmes prévenus à la date du 7 février 1919 et l'arrêt reproduit par la « Gazette des Tribunaux » se trouve fort court, mais bien documenté, dans les termes suivants sur le rapport de M. Ambroise Colin, les conclusions de M. Eon et la plaidoirie de Me de Ségogne.

La Cour ;

Donne défaut contre les défenseurs non comparants ;

Au fond :

Vu l'article 2 du décret du 15 avril 1915, relatif à la prorogation des échéances ;

Attendu qu'aux termes de cette disposition, le porteur d'un effet de commerce prorogé, assujetti aux intérêts de 5 pour 100 institués par le décret du 29 août 1914, est tenu d'aviser le débiteur avant le 31 mai 1915 et dans les formes prescrites par l'alinéa 2, qu'il est en possession de l'effet, faute de quoi les intérêts cesseront de courir à partir de cette date ; mais que ces formalités ne sont pas nécessaires si le porteur peut prouver que le débiteur a été antérieurement avisé ;

Attendu que l'avis donné au débiteur l'informe de la création et de la mise en circulation de l'effet de commerce dont il lui est, dès lors, loisible de s'acquitter soit en payant, soit en consignant ; que, désormais, il ne lui est pas permis de bénéficier de la prorogation sans être astreint au paiement des intérêts envers le porteur entre les mains duquel il se libère.

Attendu qu'il résulte du jugement attaqué que la Banque de France, porteur, en vertu d'un endossement de Lehideux et Cie, d'un mandat de 225 fr à échéance du 10 août 1914, tiré par Grosset sur Blum et Lévy, a avisé ceux-ci, par lettre recommandée du 10 décembre 1914, que l'effet était resté entre ses mains ; que le 22 juillet 1915, Lehideux et Cie reprirent l'effet à la Banque de France ;

Que Blum et Lévy ayant par la suite payé directement Grosset, Lehideux et Cie leur réclamèrent le principal de l'effet et les intérêts jusqu'au jour du paiement ;

Que le jugement attaqué, reconnaissant l'irrégularité du paiement fait à Grosset, a condamné le débiteur à verser à Lehideux et Cie la somme principale de 225 fr, mais décidé que les porteurs n'avaient droit aux intérêts que depuis le 10 décembre 1915, faute par eux de s'être conformés aux prescriptions de l'article 2 du décret du 15 avril 1915.

Mais attendu qu'en produisant, ainsi que le constate le jugement, la lettre recommandée adressée le 10 décembre 1914 par la Banque de France à Blum et Lévy, Lehideux et Cie avaient prouvé que les débiteurs avaient été antérieurement avisés.

Que dès lors, en statuant comme il a été fait, le jugement attaqué a violé le texte susvisé.

Pour ces motifs :

Casse le jugement, mais seulement en ce qu'il refuse d'accorder aux demandeurs les intérêts légaux ayant couru entre le 31 mai 1915 et le jour du paiement.

Digitized by Google

Il est intéressant de rapprocher cette décision d'une réponse qui a été faite par le ministre des Finances à M. Buisset, député, qui avait présenté cette question : Lorsqu'une traite échue en 1914 n'a pas été présentée au débiteur et que le tireur habite les pays envahis, c'est-à-dire que le tiré n'a pu correspondre avec son créancier, par quelle partie doivent être supportés les intérêts moratoires si la banque où était déposée la valeur n'a pas avisé les intéressés ?

Et le ministre répond dans le « Journal officiel » du 23 février 1919 :

« Le tiré qui se trouvait en région non envahie pouvait, aux termes de l'article du décret du 27 septembre 1914, se libérer en versant le montant de la dette à la Banque de France contre un récépissé payable à vue devant être remis au porteur lors de la présentation de l'effet. Du jour où ce paiement a été fait, les intérêts ont cessé de courir. Il convient de remarquer, d'ailleurs, que le porteur de l'effet était tenu aux termes de l'article 2 du décret du 15 avril 1915, d'aviser le débiteur qu'il était en possession du dit effet et que le payement pouvait en être effectué entre ses mains. Si cet avis n'a pas été donné au tiré, les intérêts moratoires ont cessé de courir au profit du porteur. »

Paul BOUGAULT,
Avocat à la Cour d'appel de Lyon.

Législation, jurisprudence, réglementation

Instructions sur le mode d'application du décret du 21 novembre 1916 à partir du 1er février 1919.

Le Président du Conseil, le Ministre de la Guerre, le Ministre de l'Intérieur, le Ministre des Travaux Publics et des Transports, le Ministre du Travail et de la Prévoyance sociale, le Ministre de la Reconstitution industrielle,

à Monsieur le Préfet du département de ...

Le décret du 21 novembre 1916 a spécifié en son article 2 qu'en cas d'insuffisance du réseau à assurer la fourniture simultanée de l'énergie nécessaire aux établissements travaillant pour la défense nationale, aux services publics et à la consommation privée, le Ministre de la Guerre est autorisé, en l'absence même de toute réquisition, à imposer à l'exploitant un ordre de priorité entre ces diverses catégories de consommateurs d'énergie à titre permanent ou à certaines heures de la journée seulement sur avis conforme du Ministre de l'Intérieur et du Ministre des Travaux Publics et des Transports.

Un arrêté du ministre de l'Armement et des Fabrications de Guerre du 19 décembre 1916 et des circulaires interministérielles en date des 8 février 1917 et 5 juin 1917 ont réglementé l'application de ce décret dont les résultats ont été satisfaisants malgré la pénurie de courant électrique qui s'est fait gravement sentir dans certaines régions et tout particulièrement dans celles où ont fonctionné avec une très grande activité des usines travaillant pour la défense nationale.

La Commission interministérielle a pu, par des ententes entre les producteurs et les divers consommateurs, réussir à prévenir les effets désastreux que cette pénurie de courant pouvait amener.

Dans les nouvelles circonstances actuelles, il semble nécessaire de donner des instructions pour l'application du décret et d'y apporter les tempéraments nécessaires. Tel est l'objet des présentes instructions qui recevront leur leur application à partir du 1er février 1919.

Il y aura lieu de distinguer à cet égard les régions libérées du reste de la France.

Dans les régions libérées, la circulaire interministérielle du 13 janvier 1919 a maintenu en vigueur les dispositions du décret tant qu'il y aura pénurie d'énergie électrique par rapport aux besoins à satisfaire.

En effet, dans ces régions, la situation est encore complètement anormale et il est nécessaire qu'une seule et même autorité préside jusqu'à nouvel ordre à la répartition du courant.

Dans ces conditions, la répartition du courant sera faite dans chaque département par une Commission comprenant le Préfet, l'Ingénieur en chef du contrôle des distributions d'énergie, l'Inspecteur du travail, et un représentant du Ministre de la Reconstitution industrielle. L'autorité conférée par le décret au Ministère de la Guerre qui ensuite est passée entre les mains du Ministère de l'Armement, est aujourd'hui attribuée au Ministère de la Reconstitution industrielle.

En dehors des régions libérées, il convient au contraire de revenir le plus tôt possible à l'état normal et de suspendre en principe l'application du décret du 21 novembre 1916.

Toutefois, dans les cas où la pénurie d'énergie électrique rendra cette mesure nécessaire, l'Ingénieur en chef du contrôle des distributions d'énergie électrique, délégué à cet effet par le Ministre des Travaux Publics et des Transports, après avis du Préfet, aura pouvoir de requérir la priorité pour la desserte des services publics.

Quant aux autres consommateurs, aucun classement de priorité ne sera plus imposé à leur égard.

Au cas où des difficultés se présenteraient pour l'application de la présente instruction il en serait immédiatement référé au Ministre des Travaux Publics et des Transports.

Décret réglementant l'usage des appareils à vapeur.

Par décret du Ministre de la Reconstitution industrielle en date du 23 février 1919 et publié au « Journal Officiel » du 26 février, p. 2196, l'antépénultième alinéa de l'article 4 du décret du 9 octobre 1907 est remplacé par le texte suivant :

« L'épreuve est faite sous la direction et en la présence de l'ingénieur ou du contrôleur des mines ; toutefois sur la demande de l'intéressé, elle pourra, dans les cas et sous les conditions qui seront fixés par les instructions du Ministre, être faite sous la direction et en présence d'un délégué d'une des associations de propriétaires d'appareils à vapeur visées à l'article 3. »

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF :
Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 13. — 29 MARS 1919.

Chronique. — Le vote du projet de loi sur les unités de mesure. — Sadi Carnot et les principes de la thermodynamique. — Un nouveau périodique : L'Economie nouvelle, p. 465-466.

Section scientifique et technique. — Etude analytique des conditions dans lesquelles, pour un échauffement déterminé, la puissance de certaines catégories de machines électriques est maximum, par H. LAJUS, p. 467. — Sur un système de transformation de courant continu en courant alternatif, et vice versa, sans commutateur divisé, par O. LI GOTTI, p. 471, — Revues, analyses et informations : Théorie simplifiée de la chute cathodique dans les gaz, avec application aux cathodes planes et filiformes, p. 484.

Section industrielle. — Les treuils de labourage, par ACH. DELAMARRE, p. 487. — Considérations sur l'utilisation de la force motrice des marées, par R. GOUÉDARD, p. 491.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Forges et Ateliers de la Longueville, p. 499; Compagnie l'Union des Gaz, p. 500.

Section de législation. — Application de la loi de finances du 29 juin 1918. Enregistrement des polices d'abonnement pour la fourniture de gaz, d'électricité et d'air comprimé, p. 501. — Législation, jurisprudence, réglementation : Loi relative à la Création d'un Registre du Commerce, p. 502; Décret créant une Commission interministérielle de contrôle des importations et exportations, p. 504.

Le vote du projet de loi sur les unités de mesure. — Dans sa séance du vendredi 21 mars le Sénat a adopté le projet de loi sur les unités de mesure qui, adopté par la Chambre des Députés en 1914, était soumis à la Haute Assemblée depuis près de cinq ans.

C'est en effet en 1912 que le Ministre du Commerce et de l'Industrie instituait une Commission spéciale, présidée par M. A. Pérot, professeur à l'Ecole Polytechnique, pour l'élaboration d'un projet de loi et d'un règlement d'administration publique concernant les unités de mesure. Ces projet et règlement furent soumis aux diverses sociétés scientifiques, techniques, professionnelles que la question intéressait : Académie des Sciences, Société française de Physique, Société française des Electriciens, Société des Ingénieurs civils, Chambres de Commerce, etc. Les discussions qui eurent lieu dans ces Sociétés et dont nos lecteurs ont sans doute conservé le souvenir (1), amenèrent la Commission à modifier à plusieurs reprises les textes proposés. En particulier au système M. K. S. (mètre, kilogramme, seconde) qu'elle proposait tout d'abord, elle substitua le système M. T. S. (mètre, tonne, seconde) préconisé par le professeur Tanakadata à la dernière Conférence générale des Poids et Mesures et qui paraissait devoir rallier la grande majorité des opinions.

C'est ce dernier système qui figure dans le projet de loi adopté par la Chambre des Députés le 3 avril 1914 et qui fut transmis au Sénat pour être discuté le plus rapidement possible. L'agression brutale de l'Allemagne vint retarder cette discussion et ce ne fut que le 29 mars 1918 qu'elle fut reprise; les canons allemands qui tirèrent sur Paris et qui au moment où la discussion allait aboutir faisaient 88 morts et 68 blessés dans l'église Saint-Gervais, devaient amener un nouveau retard. Mais l'urgence d'une décision se faisait sentir, la Commission économique interalliée se préoccupant des relations à établir au point de vue du commerce et de l'industrie entre les pays qui entreront dans la Société des Nations. La discussion fut donc reprise par le Sénat dans sa séance du 11 mars, puis dans celle du 21 mars où, comme nous le disons au début, le projet de loi fut adopté sans modification.

Nous donnerons le texte de cette loi, qui intéresse au plus haut degré les mécaniciens et les électriciens, lorsqu'elle aura paru au « Journal Officiel ».

(1) Un historique de la question accompagné d'une discussion a été publié par M. R. DE BAILLEHACHE sous le titre « A propos des définitions des unités électriques récemment votées par la Chambre des Députés » dans *La Revue Electrique* du 3 juillet 1914, t. XXII, p. 39-42.

Sadi Carnot et les principes de la thermodynamique. — Des deux principes de la thermodynamique un seul porte le nom de Carnot. Deux notes récemment présentées à l'Académie des Sciences l'une

Digitized by Google

par M. Décombe (1), l'autre par M. Raveau (2), montrent qu'en réalité Carnot avait découvert l'un et l'autre, ses méditations sur la nature de la chaleur l'ayant peu à peu amené à abandonner le dogme de l'indestructibilité du calorique admis universellement à son époque.

Rappelons à ce propos que, depuis longtemps déjà, il paraissait certain que Carnot n'avait pu ignorer l'équivalence de la chaleur et du travail mécanique. Dans ses leçons à la Sorbonne du premier semestre 1888-1889, Henri Poincaré disait en effet (3) :

« Il est difficile de dire à qui revient l'honneur d'avoir découvert le principe de l'équivalence de la chaleur et du travail mécanique.

» Sadi Carnot semble l'avoir reconnu vers la fin de sa vie; mais ses recherches sur ce sujet, consignées dans des notes manuscrites publiées seulement dans ces dernières années, restèrent longtemps ignorées et ne furent d'aucun profit pour la science. Il était réservé à Robert Mayer de le retrouver et de le faire connaître. »

Plus loin (4) H. Poincaré ajoute, après avoir cité un passage de ces notes manuscrites :

« Pouvait-on exprimer d'une manière plus claire et plus précise le principe de la conservation de l'énergie?

» Carnot donne même le nombre exprimant le nombre d'unités de chaleur correspondant à l'unité de puissance motrice (synonyme de travail pour Carnot) : la production d'une unité de puissance motrice, 1 000 kg élevés à 1 m, nécessite la destruction de 2,70 unités de chaleur. De ces nombres on déduit 370 pour l'équivalent mécanique de la chaleur.

» Carnot ne dit pas comment il est parvenu au nombre qu'il indique pour l'équivalent calorifique de la puissance motrice. Il est cependant probable qu'il l'a déduit des chaleurs spécifiques des gaz. Si on fait le calcul en prenant pour C et c les valeurs admises à l'époque, on trouve en effet le nombre de Carnot. C'est aussi ce même nombre que Mayer obtint quinze ans plus tard par cette méthode. »

On a vu, par la lecture de la reproduction que nous avons donnée, dans le dernier numéro, de la note de M. Décombe que Carnot n'avait pas seulement calculé la valeur de l'équivalent mécanique; il avait encore dressé tout un programme d'expériences pour s'assurer que le nombre qu'il avait trouvé dans un cas particulier conservait la même valeur dans toutes les transformations de l'énergie mécanique en chaleur, et ce programme n'est autre que celui qui fut réalisé quelque vingt ans après par Joule, Colding et Hirn.

Toutefois ce n'est pas, comme le pensait Henri Poincaré, par la considération de la différence $C - c$ des chaleurs spécifiques des gaz que Carnot est parvenu à trouver la valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur. M. C. Raveau a constaté en effet par le dépouillement de manuscrits encore inédits, confiés à l'Académie des Sciences par Hippolyte Carnot et M. Adolphe Carnot, que c'est en vérifiant numériquement que le rendement d'une machine parfaite ne dépend que des températures des sources qu'il a obtenu le nombre 2,70.

Quoi qu'il en soit du procédé employé par Carnot pour calculer l'équivalent mécanique de la chaleur, il n'en est pas moins démontré que le grand savant français avait une notion très exacte et très complète de l'équivalence de la chaleur et du travail et que seuls des scrupules scientifiques l'ont empêché de la faire connaître, à une époque où l'on admettait l'indestructibilité du fluide calorifique, sans l'appuyer sur des preuves expérimentales. Cette constatation n'enlève certes rien au mérite de ceux qui plus tard retrouvèrent le principe de l'équivalence, Mayer, Joule et Colding, mais elle montre que dans toutes les branches la science française a toujours été à la tête du progrès.

Il n'était peut-être pas inutile de le rappeler à l'heure actuelle où l'on voit trop souvent nos compatriotes, trompés par les traductions d'ouvrages allemands, attribuer à des étrangers des découvertes que peuvent à bon droit revendiquer des Français.

Un nouveau périodique : L'Economie nouvelle (1). — La Fédération des Industriels et Commerçants français vient de transformer le « Bulletin » qu'elle publiait jusqu'ici à l'usage de ses membres en une revue à périodicité régulière atteignant le grand public et dont le nom, « L'Economie nouvelle », montre suffisamment le but.

Le premier numéro de cette revue contient : un article de M. André Lebon, intitulé : « Un but et une méthode » où se trouve indiqué le programme de la publication; un article de M. P. Lémy sur les « Sociétés d'achats en commun »; une étude, qui bien qu'anonyme est fort intéressante, sur « Les clauses ouvrières de la paix »; le « Bulletin de la Fédération », dans lequel est publié le discours prononcé au 117e déjeuner de la Fédération par M. R. Legouez sur « Le camouflage industriel »; enfin une rubrique intitulée « Notes et Documents ».

L'utilité de cette évolution du « Bulletin de la Fédération des Industriels et Commerçants » se trouve démontrée par l'intérêt tout particulier qu'ont pris les études économiques du fait de la guerre. Il faut en effet, comme l'écrit M. André Lebon, « entreprendre l'éducation de l'opinion et l'amener au plan qu'il est nécessaire de leur voir occuper, c'est-à-dire au premier, les questions relatives à la production, à l'échange et à la consommation des richesses dont dépend, aujourd'hui plus que jamais, l'avenir de la France appauvrie et meurtrie jusque dans la victoire ».

La Fédération des Industriels et Commerçants était toute désignée pour entreprendre cette tâche; nul doute qu'elle ne l'accomplisse avec succès.

(1) L. Décombe; Sadi Carnot et le principe de l'équivalence. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 3 février 1919, t. CLXVIII, p. 208-271. Cette note a été reproduite dans la *R. G. E.*, 22 mars, t. V, p. 442-443.

(2) C. Raveau : Comment Carnot a calculé l'équivalent mécanique de la chaleur; un document inédit. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 17 mars 1919, t. CLXVIII, p. 549-552.

(3) H. Poincaré. *Thermodynamique*.

(4) H. Poincaré. *Loc. citato*, p. 51.

(1) Publication mensuelle, format 24 cm × 16 cm, 68 pages. Rédaction et administration, 74, boulevard Haussmann. Prix de l'abonnement annuel : France, 20 fr; Etranger 24 fr; prix du numéro, 1 fr 75.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Étude analytique des conditions dans lesquelles, pour un échauffement déterminé, la puissance de certaines catégories de machines électriques est maximum

En se basant sur des considérations purement théoriques, l'auteur de cet article recherche les conditions pour lesquelles une machine électrique, machine à courant continu, alternateur ou transformateur, développera sa puissance maximum utile sans qu'aucune de ses parties dépasse les limites d'échauffement admissibles. Comme conclusion pratique, il indique comment il faudra conduire les essais d'une machine construite en s'inspirant des résultats auxquels il est arrivé dans la première partie.

Introduction. — Cette étude étant purement théorique, il y a lieu de remarquer tout d'abord que des nécessités de construction peuvent obliger à s'écarter parfois notablement de ses conclusions.

Elle ne s'applique qu'aux machines à courant continu, et aux machines à courant alternatif fonctionnant à $\cos \varphi = C^{te}$ quelles que soient les valeurs de la tension, de l'intensité et de l'induction.

Ces conditions de marche sont réalisables avec des alternateurs et transformateurs débitant sur un dispositif dont on peut maintenir la valeur $\frac{L\omega}{R}$ constante, mais non avec les moteurs synchrones, les moteurs asynchrones, les commutatrices dont le facteur de puissance est fonction de l'induction.

La question envisagée correspond au problème pratique suivant :

Le régime normal d'une machine électrique, calculée et construite correctement, est celui qui en utilise au maximum chacune des parties, c'est-à-dire qu'il doit développer le maximum de puissance dont est susceptible la carcasse de cette machine, sans que, dans aucune des parties, la quantité de fer et cuivre dépasse celle que nécessite la limite d'échauffement que s'est proposé le constructeur.

Une fois le premier type d'une série construit, on est donc amené à rechercher tous les régimes auxquels les différentes parties de cette machine atteignent les échauffements limités.

Celui d'entre eux (volts, ampères, vitesse) pour lequel la puissance est maximum est évidemment le régime optimum cherché.

Il sera ensuite possible par le calcul de réaliser à la tension normale qu'on se propose les mêmes conditions de pertes cuivre, pertes fer, vitesse, qui réalisent le maximum de puissance.

Examinons pour fixer les idées comment seront conduits les essais d'une machine à courant continu.

L'induit étant soumis successivement à toutes les conditions d'induction, vitesse, pertes Joule qui l'utilisent pleinement, l'inducteur sera si possible maintenu également à température constante par l'emploi de bobines inductrices de résistances différentes.

On obtiendra ainsi un régime optimum, mais qui est relatif à l'induit considéré.

Pour être rigoureux, il conviendrait de reprendre les mêmes essais avec d'autres induits en vue d'obtenir le régime optimum général, défini comme précédemment.

Mais la première série d'essais sera suffisante si le dimensionnement de l'induit est normal, par rapport en particulier à celui du paquet de tôle inducteur.

II. — **Exposé de la méthode**. — Nous nous proposons :

1° de déterminer par le calcul quelles sont les conditions nécessaires à l'obtention du régime optimum.

2° d'examiner comment les conclusions de cette étude peuvent-être appliquées à la conduite des essais.

Ce second point sera examiné dans une note ci jointe.

Les conditions du problème peuvent donc être ainsi précisées :

1° Seuls sont considérés les régimes de marche continue pour lesquels chaque partie de la machine est à son échauffement limite.

La somme des pertes dissipées par la carcasse et la valeur ϖ des pertes particulières à chaque partie se trouvent de ce fait déterminées. Mais leur valeur peut varier avec le régime par suite de la ventilation.

Nous poserons donc d'une façon générale

$$\varpi = f(N),$$

N étant la fréquence du flux, fréquence dont la vitesse du ventilateur est elle-même fonction.

Cette fonction $\varpi = f(N)$ peut se réduire d'ailleurs à une constante (transformateur non ventilé, par exemple).

Digitized by Google

— Dans les autres cas elle est croissante en même temps que N.

2° Les calculs développés ci-dessous s'appliquent à la partie de la machine, soit A, où se développe la force électro-motrice.

Ce sera donc l'induit d'une dynamo ou d'un alternateur, ou l'ensemble d'un transformateur.

Les pertes y sont à la fois et uniquement de nature électrique ou magnétique :

Pertes fer dues à la variation de l'induction de $-\mathcal{B}$ à $+\mathcal{B}$ avec une pulsation

$$2\pi N = \frac{U}{\mathcal{B}} C,$$

Pertes joule RI^2, R étant une constante (échauffement maintenu constant).

3° La constitution de cette partie A est d'ailleurs invariable Au contraire les autres parties B pourront subir toutes les modifications qu'exige leur maintien à la limite d'échauffement. Il est à noter en particulier qu'une des causes de ces modifications est la variation de l'effet de convection de A sur B, due à des variations de vitesse.

Nous aurons ainsi déterminé les conditions d'un régime optimum de la machine relativement à l'emploi d'une pièce A déterminée mais quelconque. Il est évident que le régime optimum général, défini comme précédemment pour les machines à courant continu, est en particulier soumis à ces mêmes conditions.

4° Nous appelons : P la puissance électrique utile mise en jeu dans A (puissance totale moins les pertes) ;

U la force électromotrice s'il s'agit d'un récepteur, ou la différence de potentiel s'il s'agit d'un générateur.

Nous recherchons le maximum de la puissance utile :

$$P = \lambda U I,$$

λ étant dans tous les cas une constante, d'après les restrictions faites dès le début.

Les équations du problème sont ainsi :

(a) $P = \lambda U I$	$\lambda, C, A, B, R =$ C^{tes}
(b) $2\pi N = C\dfrac{U}{\mathcal{B}}$.	$\mathcal{B} \leqq \mathcal{B}_0$ (saturation)
(c) pertes par hystérésis : $H = A_1 \mathcal{B}^{1,6} \times 2\pi N = A\mathcal{B}^{0,6} U.$	$\dfrac{d\varpi}{dN} \geqq 0$ (ventilation)
(d) Foucault : $F = B_1 \mathcal{B}^2 \times (2\pi N)^2 = BU^2$	
(e) Joule : $J = RI^2 = \dfrac{R}{\lambda^2}\dfrac{P^2}{U^2}$.	
(f) $H + F + J = \varpi = f(N)$.	

Soit un système de 6 équations à 8 variables.

En éliminant N, I, F, H, J, on en déduit l'équation :

$$(f') \qquad A\mathcal{B}^{0,6} U + BU^2 + \frac{R}{\lambda^2}\frac{P^2}{U^2} = \varpi.$$

Posons :

$$y = \frac{R}{\lambda^2} P^2.$$

Il vient pour $U \neq 0$.

$$(g) \qquad y = \varpi U^2 - A\mathcal{B}^{0,6} U^3 - BU^4.$$

Et nous sommes amenés sous les conditions

$$\mathcal{B} \leqq \mathcal{B}_0, \frac{d\varpi}{dN} \geqq 0,$$

à suivre les variations de y, fonction de 2 variables indépendantes $\mathcal{B}$ et U.

Nous remarquerons d'abord qu'il n'existe pas de maximum absolu d'une telle fonction, l'une des conditions générales $\dfrac{\partial y}{\partial \mathcal{B}} = 0$ étant impossible.

On a en effet

$$\frac{\partial y}{\partial \mathcal{B}} = -0{,}6\, AU^3 \mathcal{B}^{-0,4} + U^2 \frac{d\varpi}{dN}\frac{\partial N}{\partial \mathcal{B}}.$$

Or, d'après l'équation (b)

$$\frac{\partial N}{\partial \mathcal{B}} = -\frac{CU}{2\pi \mathcal{B}^2},$$

d'où

$$\frac{\partial y}{\partial \mathcal{B}} = -0{,}6\, AU^3 \mathcal{B}^{-0,4} - \frac{CU^3}{2\pi \mathcal{B}^2}\frac{d\varpi}{dN}.$$

Le premier terme de cette expression est toujours négatif ; le second ne peut qu'être nul ou négatif d'après l'hypothèse $\dfrac{d\varpi}{dN} \geqq 0$.

On a donc toujours $\dfrac{\partial y}{\partial \mathcal{B}} < 0$.

Il n'y a pas de maximum absolu et y varie toujours en sens inverse de $\mathcal{B}$.

Ce résultat nous amène du moins à la conclusion intéressante suivante :

Pour toute valeur de U, la plus grande valeur de y correspond à la plus petite possible de $\mathcal{B}$, ou, ce qui revient au même, d'après la relation

$$2\pi N = \frac{CU}{\mathcal{B}},$$

à la plus grande valeur de N.

Nous sommes donc amenés à nous fixer cette plus grande valeur admissible, soit N_m, et à ne rechercher

Digitized by Google

que le maximum de y relatif à cette fréquence $N = N_m$.

Autrement dit : *La première condition définissant le régime optimum est que la fréquence atteigne la plus grande valeur admissible* (1).

y n'est plus alors fonction que d'une seule variable indépendante, U par exemple.

U et $\mathcal{B}$ sont en effet liés par la relation

$$(b') \qquad 2\pi N_m = \frac{CU}{\mathcal{B}}.$$

En outre ϖ prend la valeur particulière constante

$$\varpi_m = f(N_m).$$

En éliminant $\mathcal{B}$ entre (g) et (b') il vient donc

$$y = \varpi_m U^2 - AU^3 \left(\frac{CU}{2\pi N_m}\right)^{0,6} - BU^4,$$

$$(g') \qquad y = \varpi_m U^2 - \frac{AC^{0,6}U^{3,6}}{(2\pi N_m)^{0,6}} - BU^4.$$

La valeur de U rendant y maximum devra vérifier

$$(p) \qquad \frac{dy}{dU} = 0,$$

$$(q) \qquad \frac{d^2y}{dU^2} < 0.$$

Or la condition (p) s'écrit

$$\frac{dy}{dU} = 2\varpi_m U - 3,6\, AC^{0,6} \frac{U^{2,6}}{(2\pi N_m)^{0,6}} - 4BU^3 = 0.$$

Pour $U \neq 0$, $\quad 2\varpi_m - 3,6\, AC^{0,6} \dfrac{U^{1,6}}{(2\pi N_m)^{0,6}} - 4BU^2 = 0,$

$$2\varpi_m - 3,6\, A \left(\frac{CU}{2\pi N_m}\right)^{0,6} U - 4BU^2 = 0,$$

c'est-à-dire

$$(2) \qquad 2\varpi_m - 3,6\, H - 4F = 0.$$

Il reste à vérifier l'inégalité

$$(q) \qquad \frac{d^2y}{dU^2} < 0,$$

on a

$$\frac{d^2y}{dU^2} = 2\varpi_m - 3,6 \times 2,6 \times \frac{AC^{0,6}U^{1,6}}{(2\pi N_m)^{0,6}} - 12\, BU^2,$$

$$= 2\varpi_m - 3,6 \times 2,6 \times A \left(\frac{CU}{2\pi N_m}\right)^{0,6} U - 12BU^2,$$

$$= 2\varpi_m - 3,6 \times 2,6\, H - 12\, F,$$

expression rendue évidemment négative par la condition (2).

La condition (2) *est donc bien une seconde condition du régime optimum* qui doit donc vérifier en définitive

$$(1) \qquad N = N_m,$$

$$(2) \qquad 3,6\, H + 4F = 2\varpi_m.$$

Posons

$$3,6\, H + 4F = 3,8\,(H + F)\,\alpha.$$

α est une fonction de U qui varie très peu dans les limites d'utilisation d'une machine. On a par exemple

$$\text{Pour } \frac{H}{F} = 3, \qquad \alpha = \frac{3,6 \times 3 + 4}{3,8 \times 4} = \frac{14,8}{15,2},$$

$$\text{Pour } \frac{H}{F} = \frac{1}{3} \qquad \alpha = \frac{3,6 + 4 \times 3}{3,8 \times 4} = \frac{15,6}{15,2}.$$

Nous ne considèrerons que la valeur moyenne

$$\alpha = \frac{15}{15} = 1.$$

La condition (2) devient alors

$$3,8\,(H + F) = 2\varpi_m.$$

Les conditions sont donc

$$(1) \begin{cases} N = N_m \\ (2) \begin{cases} H + F = \dfrac{2\varpi_m}{3,8} = 0,526\varpi \text{ ou sensiblement} \\ J = 0,48\,\varpi_m, \end{cases} \end{cases} \qquad \begin{cases} N = N_m \\ H + F = J = 0,5\,\varpi_m. \end{cases}$$

Si y_m est le maximum de y, celui de P est

$$P_m = \lambda \sqrt{\frac{y_m}{R}}.$$

Conclusion. — Chacune des parties de la machine considérée atteignant la limite d'échauffement permise, le maximum de puissance électrique utile qu'est susceptible de fournir soit une machine à courant continu, soit un transformateur ou un alternateur fonctionnant à $\cos\varphi = C^{te}$, ne peut être obtenu qu'aux conditions suivantes :

1° La fréquence est poussée à la plus grande valeur admissible.

(1) Cette démonstration peut d'ailleurs se traduire sans calcul de la façon suivante :

Soient connues les valeurs particulières RI^2 et $H + F$ d'un même régime. La connaissance de RI^2 fixe celle de I. Mais celle de $H + F = A\mathcal{B}^{1,6}U + BU^2$ ne détermine pas U, qui peut être pris d'autant plus grand que $\mathcal{B}$ est plus petit, c'est-à-dire que la vitesse est plus grande (la somme des pertes : $RI^2 + H + F$ étant supposée constante, ou croissant avec la fréquence si la ventilation est variable). Or I étant déterminé, la puissance croit proportionnellement à U, donc également en même temps que N.

Digitized by Google

2° Dans toute partie, siège d'une force électromotrice, la somme des pertes par hystérésis et Foucault est égale aux pertes Joule.

La valeur du maximum de cette puissance est inversement proportionnelle à la racine carrée de la résistance ohmique du circuit où elle se développe.

Remarques. — 1° Ces conclusions sont valables que la machine soit ventilée ou non.

2° Elles supposent que la proportion des masses de fer et cuivre de l'induit est convenable.

3° La valeur de la fréquence ou de la vitesse peut être imposée par des considérations électriques (fréquence d'un réseau, nécessité d'une bonne commutation), de résistance mécanique, ou enfin par l'usage même auquel est destinée la machine.

4° Les conclusions ci-dessus sont à rapprocher de celles de l'étude très connue des conditions de rendement maximum d'un transformateur fonctionnant à une fréquence et une tension constantes.

On sait que dans ce cas le rendement et la puissance utile sont à la fois maxima pour : pertes dans le fer = pertes dans le cuivre.

II. — **Application aux essais.** — Les recherches du régime optimum d'une machine à courant continu, d'un alternateur ou d'un transformateur, régime et conditions d'essais définis comme dans l'étude ci-jointe, sont toujours très longues par suite : du nombre d'essais auquel on est conduit, de la durée de chacun d'eux, des périodes de refroidissement qui doivent les séparer et des modifications de construction qu'on est amené à effectuer.

Il peut donc être utile, afin de réduire les tâtonnements de s'inspirer des conclusions de l'étude théorique en conduisant les essais de la façon suivante (mêmes notations que précédemment) :

1° réaliser à la fréquence maximum admissible un régime quelconque qui amène chaque partie de la machine à son échauffement limite, ou le plus près possible de cet échauffement (essai I).

On connaît ainsi pour cette fréquence la valeur de ϖ_m relative à chaque partie.

2° tracer la courbe des pertes à vide à cette même vitesse maximum, tension et induction variables (essai II). On en déduira la courbe $H + F = \varphi(U)$ et, par la relation $H + F = 0{,}5\ \varpi_m$, le point P représentatif du fonctionnement cherché.

3° vérifier les échauffements obtenus pour ce régime (essai III).

$$N = N_m \qquad J = F + H = 0{,}5\ \varpi_m,$$

Nous savons que, dans le cas d'une machine à courant continu et d'un alternateur, il est souvent nécessaire d'apporter des modifications à certaines de ses parties, mais il peut se faire également que ces modifications soient impossibles et qu'il n'existe pas, à la plus grande vitesse admissible, de régime qui réalise pour toutes les parties les limites d'échauffement.

Dans ce cas on n'a évidemment pas le droit d'appliquer rigoureusement les conclusions de l'étude théorique. Examinons dans cette hypothèse les divers cas pouvant être rencontrés dans les essais d'un moteur à courant continu.

Machine a courant continu. — La condition pertes fer = pertes cuivre pour l'induit est déterminée par l'essai II. Il peut se faire que, dans l'essai III, l'inducteur ou le collecteur ne s'en accommodent pas, ou l'induit lui-même si le rapport des masses fer et cuivre ne le permet pas.

1° *Le régime déterminé par l'essai II ne convient pas à l'inducteur.* — a) Le courant d'excitation déterminé par l'essai II est plus fort que celui de l'essai I. On ne pourra pousser l'excitation et, par suite, la tension que

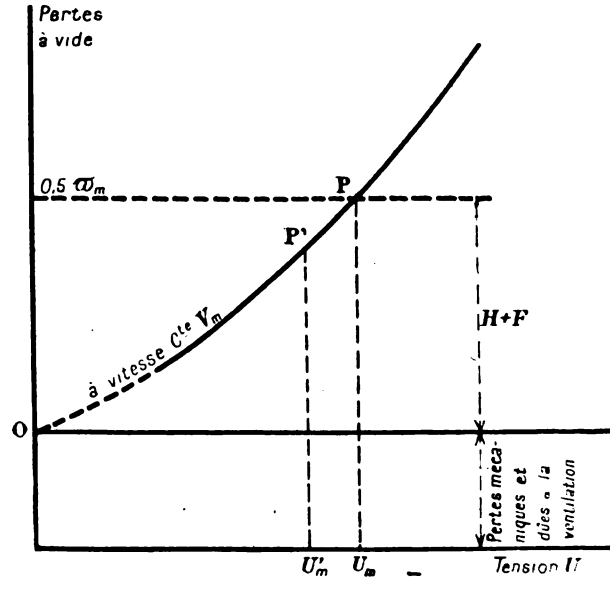


Fig. 1.

jusqu'à la valeur de l'essai I. Le courant dans l'induit sera donc également celui de cet essai I.

Ce régime ne réalise pas la condition $H + F = J$ et la puissance est limitée par l'insuffisance de l'inducteur.

b) Le courant d'excitation est plus faible dans l'essai II que dans l'essai I. L'inducteur, dans l'essai III, n'atteint donc pas sa limite d'échauffement; il rayonne moins sur l'induit, qui lui-même, de ce fait, peut ne pas atteindre cette limite.

On pourra adopter pour l'induit une valeur de ϖ_m supérieure, c'est-à-dire amener P en P' et prendre $H + F = \overline{P'U'_m}$ avec $J > H + F$.

2° *Le régime déterminé par l'essai II ne convient pas au collecteur.* — a) L'échauffement du collecteur est *supérieur* dans le régime de l'essai III à celui de l'essai I.

Si l'échauffement est dû principalement aux pertes par frottement, on réduira le nombre des balais; à la condi-

Digitized by Google

tion que la commutation le permette, sinon il faut réduire la vitesse et reprendre à cette vitesse les essais I, II, III.

Si l'échauffement est dû aux pertes Joule au collecteur, il peut y avoir lieu d'augmenter la surface des balais en réduisant en même temps, au cas où la commutation le permettrait, la pression par unité de surface. On peut également réduire le courant dans l'induit en augmentant par contre la tension et l'induction.

b) L'échauffement du collecteur est *inférieur* à celui de l'essai I. Il rayonne moins sur l'induit et il est possible, de ce fait, que celui-ci admette une valeur de ϖ_m supérieure à celle de l'essai I.

3° *Le régime déterminé par l'essai* II *ne convient pas à l'induit, par suite du rapport des masses cuivre et fer employé dans sa construction.*

On reprendra les essais avec un induit calculé en conséquence, à condition naturellement que le prix de revient par k w en vaille la peine.

Sinon on adoptera le régime réalisant les limites d'échauffement pour l'induit qui sera le plus voisin de celui déterminé par l'essai II.

Les essais d'un alternateur fonctionnant à cos φ = Cte seront conduits de façon analogue.

H. LAJUS,
Ingénieur aux Etablissement Schneider.

Sur un système de transformation de courant continu en courant alternatif, et vice versa, sans commutateur divisé

Dans cet article, l'auteur expose un nouveau procédé qui permettrait de transformer le courant alternatif et vice-versa en produisant des variations de flux à l'aide d'un appareil faisant varier la réactance et évitant l'emploi de commutateurs employés jusqu'à ce jour.

I. — **Généralités**. — Le problème de la transformation d'un courant alternatif simple en courant redressé dans un circuit conducteur fermé, sans clapets, sans interrupteurs et sans commutation, a reçu une première solution par M. Louis Magrini, il y a environ treize ans (1).

L'appareil que M. Magrini fit alors breveter consiste essentiellement en quatre bobines de réactance montées en deux groupes ; un moteur synchrone, alimenté par le courant alternatif à redresser, fait varier périodiquement et en sens inverse l'inductance de ces deux groupes. Les deux bobines d'un groupe sont montées directement en circuit entre l'alternateur et le réseau où on veut utiliser le courant redressé, tandis que celles de l'autre sont reliées diagonalement aux extrémités des deux premières.

Le courant de l'alternateur se partage entre les deux groupes ci-dessus, en raison inverse des valeurs instantanées de leur inductance respective. Pendant la période des ondes positives, l'action du moteur est de rendre très faible l'inductance des bobines *directes*, et très grande celle des bobines *diagonales*; pendant la période des ondes négatives, l'action du moteur est en sens inverse. Il en résulte que, pendant le premier demi-cycle, la presque totalité du courant passe de l'alternateur au circuit, et pendant le second demi-cycle il passe en croisant, c'est-à-dire dans le même sens pour le circuit d'utilisation.

En dernière analyse cet appareil est donc effectivement un redresseur de courants alternatifs : mais le redressement, au lieu d'être obtenu par l'emploi de bagues divisées, est obtenu par des phénomènes d'induction.

Quelle que soit son importance pratique, le dispositif imaginé par M. Magrini a une importance théorique considérable, car il résout un problème qui paraissait insoluble (et qui paraît encore tel à beaucoup de personnes).

Quand un problème semblable comporte une solution, on peut prévoir, en général, qu'il en comportera d'autres. Le but de cette étude est justement d'indiquer une autre solution du problème ci-dessus.

Ignorant la solution donnée par M. Magrini, j'avais envisagé la question sous un point de vue plus général : — non de redresser un courant alternatif, mais d'engendrer directement un courant ayant toujours le même sens — (si non d'intensité constante). — Je m'étais donc posé la question suivante : — est-il possible de faire naître dans un circuit, par le seul jeu de phénomènes d'induction, et donc sans avoir recours à un commutateur redresseur, une force électro-motrice ayant un sens constant ?

Ce problème paraît, a priori, insoluble, car l'interprétation courante de la loi fondamentale de l'induction fait supposer que pour qu'un enroulement devienne le siège d'une force électro-motrice d'induction ayant toujours le même sens, il faudrait que le flux embrassé par chaque spire de cet enroulement augmente continuellement, — ce qui est évidemment irréalisable. Mais si cette interprétation est exacte pour les dispositifs usuels, elle ne l'est pas pour n'importe quel dispositif.

Par exemple, dans le cas d'un groupe constitué par

(1) Voir le N° 322 de l'*Industrie Électrique* du 25 mai 1905, page 217. Je dois à la courtoisie de la Rédaction de la *Revue Générale de l'Électricité* la connaissance de cet article.

Digitized by Google

un alternateur et un redresseur Magrini, on a un circuit conducteur fermé (constitué par l'enroulement induit de l'alternateur et par les bobines d'induction), ne comportant ni bagues divisées, ni commutateur; cependant on a vu que l'effet résultant est de faire apparaître aux extrémités du circuit total une différence de potentiel ayant un sens constant.

Nous allons montrer une catégorie de phénomènes qui permettent d'engendrer directement dans un circuit alimenté par un courant continu une force électromotrice de sens constant; — nous n'aurons pas besoin d'appuyer notre exposé de résultats d'expériences, car la loi fondamentale de la conservation de l'énergie et celles de l'induction suffisent à les expliquer.

II. — **Exposé du principe.** — Supposons que l'on ait (fig. 1) un électro-aimant dont la bobine magnétisante C_m est alimentée par un courant continu, et dont le noyau en fer présente une solution de continuité, de manière à rendre négligeable l'effet de la force coercitive. Le noyau est aussi entouré par une deuxième bobine indépendante C_s que nous appellerons dans la suite circuit « induit » ou « secondaire ».

Pour simplifier le problème, nous ferons les hypothèses suivantes : 1° la perméabilité du noyau est constante, et les effets d'hystérésis de même que les courants de Foucault sont négligeables dans le fer; 2° la dispersion du flux est nulle, c'est-à-dire que tout le flux magnétique traverse les deux circuits C_m et C_s.

Cela posé, notons que toute variation du flux donne naissance dans le circuit secondaire à une force électromotrice d'induction. La naissance de cette force électromotrice, son sens et sa valeur instantanée, dépendent exclusivement de la loi de la variation du flux, et sont absolument indépendants des causes qui provoquent cette variation.

Si donc nous supposons que le flux inducteur augmente, en passant d'une valeur minimum que nous indiquerons par Φ_a, à une valeur maximum, que nous indiquerons par Φ_b, le circuit secondaire sera le siège d'une force électro-motrice d'induction négative, que nous indiquerons par e_1. Si, par contre, le flux diminue, en passant de la valeur maximum Φ_b, à la valeur minimum Φ_a, la force électro-motrice d'induction sera positive, et nous l'indiquerons par e_2.

Examinons maintenant comment les variations de flux ci-dessus peuvent être obtenues.

Le flux engendré par la bobine magnétisante C_m, parcourue par un courant I, et dont le coefficient de self-induction est $\mathcal{L}$, peut être représenté par l'expression $\mathcal{L}.I$. D'après les hypothèses faites, le coefficient est indépendant de l'intensité du courant.

Pour provoquer une variation du flux, nous pouvons donc agir soit directement sur l'intensité du courant I, soit directement sur le coefficient de self-induction $\mathcal{L}$.

a). Modification du courant. — Nous n'avons pas à nous occuper des variations provoquées par des variations analogues de la tension du réseau d'alimentation à courant continu, — car, si la tension variait, tout se passerait en dernière analyse comme si l'alimentation donc était faite par un courant intermittent. Nous devons supposer que la tension du réseau, — qui sera indiquée par U, — se maintient constante.

Mais nous pouvons tout de même provoquer des variations dans la tension appliquée aux bornes de la bobine magnétisante proprement dite, en mettant en série avec celle-ci une résistance non-inductive variable, — par exemple une résistance à liquide. En agissant sur cette dernière, on peut donc faire varier le flux engendré par la bobine magnétisante; — pendant la période variable, la résistance apparente de l'ensemble aura naturellement une valeur différente de la résistance ohmique, car les phénomènes qui se manifestent sont analogues à ceux connus sous le nom d'extra-courants.

Cela donnerait donc une première solution du problème de la transformation de courant continu en courant alternatif — (recueilli aux bornes du circuit secondaire C_s) — sans commutation ni interruption du courant continu. Il serait facile de voir que, sous certaines conditions, l'appareil permettrait la transformation inverse. Nous croyons, cependant, que cette solution n'est pas susceptible d'application pratique.

b). Modification du coefficient de self-induction $\mathcal{L}$: — On peut obtenir la variation du flux magnétique entre les valeurs extrêmes Φ_a et Φ_b sus-indiquées, en faisant varier, par un artifice quelconque, le coefficient de self-induction de la bobine magnétisante entre une valeur minimum $\mathcal{L}_a$ et une valeur maximum $\mathcal{L}_b$.

Admettons que l'on puisse réaliser cette variation de $\mathcal{L}$ par plusieurs artifices différents. Nous pouvons dire à priori que la demande de courant au réseau à courant continu sera la même quel que soit l'artifice employé. En effet, la valeur instantanée du courant dépend exclusivement de la loi de la variation du coefficient de self-induction, qui détermine la valeur instantanée de la résistance apparente du circuit inducteur, — et n'est nullement affectée par la nature de l'artifice qui provoque cette variation.

Cela est parfaitement évident. Nous attirons cependant toute l'attention sur ce point, pour des raisons que l'on comprendra mieux par la suite.

La chose étant posée, notons que la variation du coefficient de self-induction du circuit inducteur peut être obtenue soit par la variation du nombre des spires du circuit magnétisant proprement dit qui sont parcourues par le courant de la ligne, soit par celle de la reluctance du circuit magnétique.

L'application de l'un ou l'autre de ces systèmes donne lieu naturellement à des dispositifs différents. Quoique ceux qui résultent de l'application du premier système ne présentent pas un grand intérêt pratique, nous les examinerons cependant, car ils se prêtent mieux à une discussion du principe. Dans un dispositif préliminaire, la variation du nombre des spires parcourues par le courant sera encore obtenue par l'emploi d'un commutateur; mais nous montrerons ensuite que

Digitized by Google

ce commutateur ne joue pas un rôle absolument indispensable, et qu'il peut être remplacé par un autre artifice.

III. — **Dispositif basé sur la variation du nombre de spires, par l'emploi d'un commutateur.** — Pour envoyer le courant de la ligne à un nombre variable de spires de la bobine magnétisante, on peut se servir d'un commutateur. La figure 1 donne une repré-

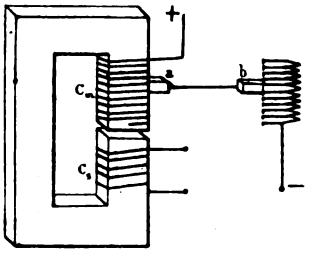


Fig. 1.

sentation schématique du dispositif, dans lequel ce commutateur est constitué tout simplement par un couple de frotteurs a et b, reliés entre eux électriquement et mécaniquement, et pouvant glisser verticalement dans les deux sens, le premier le long de l'enroulement C_m (supposé composé d'une seule couche de fil nu), et le deuxième le long d'une résistance non-inductive. Un pôle de la ligne d'alimentation est relié à l'extrémité supérieure de la bobine magnétisante, et l'autre à l'extrémité inférieure de la résistance non-inductive. Notons que cette dernière a été introduite pour pouvoir supposer constante la valeur de la résistance ohmique du circuit total connecté à la ligne, et cela pour toutes les positions du couple de frotteurs.

A la rigueur, le déplacement vertical des frotteurs ne permet pas de maintenir parfaitement constante la résistance ohmique du circuit inducteur, car les frotteurs provoquent la mise en court-circuit de spires dans la bobine magnétisante proprement dite, et de sections dans la résistance non inductive, — ce qui donne lieu à des variations brusques de la résistance ohmique du circuit inducteur total. Mais nous pouvons ne pas en tenir compte, car à la rigueur elles peuvent être éliminées. Il suffit pour cela d'imaginer que les frotteurs, au lieu de se déplacer en ligne verticale, comme nous avons dit plus haut, se déplacent suivant les spirales mêmes constituées par les conducteurs nus. (Naturellement, pour pouvoir assurer, dans ce cas, la liaison électrique entre les deux frotteurs, il faudrait modifier le dispositif de la figure 1, — en ajoutant, par exemple, des bagues et de nouveaux contacts.)

Faisons encore une remarque : — le mouvement des frotteurs n'a à vaincre que les résistances mécaniques qui s'opposent au mouvement : le travail accompli de ce chef est transformé immédiatement en chaleur par frottement ; il est donc indépendant des phénomènes électromagnétiques que ce mouvement provoque. De sorte que l'énergie requise par ces phénomènes doit être fournie par l'autre source d'énergie, c'est-à-dire par la ligne à courant continu. D'autre part, comme le circuit inducteur est la seule partie de l'appareil reliée à la ligne, il s'ensuit que la demande d'énergie doit être faite par lui.

Notons encore que, pendant le régime permanent, pour n'importe quelle position du couple de frotteurs, le courant dérivé de la ligne est déterminé exclusivement par la résistance ohmique du circuit inducteur ; nous l'indiquerons par I_c.

$$I_c = \frac{U}{R}. \qquad (1)$$

L'énergie fournie par la ligne se limite à celle transformée en chaleur par effet Joule dans le circuit inducteur.

Les conditions sont différentes pendant les périodes variables, correspondantes aux périodes de mouvement des frotteurs et diffèrent suivant que le circuit secondaire est à circuit ouvert ou fermé : nous examinerons successivement ces deux cas.

Dans l'exposé qui suit, nous indiquerons par les mêmes lettres les fonctions variables (courants, force électromotrice et coefficients) soit pour la période d'augmentation du flux, soit pour celle de la diminution ; cependant, quand nous voudrons spécifier l'une ou l'autre de ces périodes, nous ferons suivre ces lettres respectivement de l'indice 1 ou 2.

a) Secondaire a circuit ouvert. — Quoique ce circuit soit le siège d'une force électromotrice d'induction, au point de vue de la variation du flux c'est exactement comme s'il n'existait pas, car aucun courant n'y circule.

Pendant la période d'augmentation du flux de Φ_a à Φ_b (mouvement descendant des frotteurs), le coefficient de self-induction augmente également, en passant de $\mathcal{L}_a$ à $\mathcal{L}_b$. Puisque le courant a la même valeur I_c au commencement et à la fin de la période, il s'ensuit qu'à la fin l'énergie intrinsèque du système aura augmenté de la quantité :

$$\frac{1}{2}(\mathcal{L}_b - \mathcal{L}_a) I_c^2. \qquad (2)$$

Donc, en indiquant par I_1 la valeur du courant à un instant quelconque de la période variable, et par T la durée de la période, la quantité d'énergie fournie par le réseau pendant cette période sera donnée par l'équation

$$U\int_0^T I_1 dt = R\int_0^T I_1^2 dt + \frac{1}{2}(\mathcal{L}_b - \mathcal{L}_a) I_c^2. \qquad (3)$$

Etant donné que l'expression générale $\frac{d}{dt}\mathcal{L}.I$ représente une force électromotrice, le deuxième terme du second membre de l'équation (3) peut être mis sous la forme de l'intégrale du produit d'une force électromotrice et du courant qui traverse le circuit. En désignant

Digitized by Google

par u_1 cette force électromotrice, l'équation (3) devient

$$U\int_0^T I_1 dt = R\int_0^T I_1^2 dt + \int_0^T u_1 I_1 dt.$$

A un instant quelconque de la période variable on aura donc

$$UI_1 = RI_1^2 + u_1 I_1,$$

ou encore, en divisant par I_1 et par R,

$$I_1 = \frac{U - u_1}{R}. \qquad (4)$$

L'équation (4) nous dit (comme il était facile de le prévoir) que, comme conséquence du mouvement descendant des frotteurs, le circuit inducteur devient le siège d'une force électromotrice d'induction dont le sens est opposé à celui de la tension U du réseau.

Si maintenant on prend en considération la période variable de diminution du flux (mouvement ascendant des frotteurs), on voit qu'à la fin de la période (supposée pour simplicité de même durée) l'énergie intrinsèque aura diminué de la même quantité donnée par l'équation (2). D'une manière analogue on peut écrire

$$U\int_0^T I_2 dt = R\int_0^T I_2^2 dt - \frac{1}{2}(\mathcal{E}_b - \mathcal{E}_a) I^2 c. \qquad (3')$$

et

$$I = \frac{U + u_2}{R}, \qquad (4')$$

c'est-à-dire que le mouvement ascendant des frotteurs donne naissance dans le circuit inducteur à une force électromotrice d'induction de même sens que la tension U du réseau.

Considérons maintenant le dispositif représenté schématiquement par la figure 2, lequel comporte deux

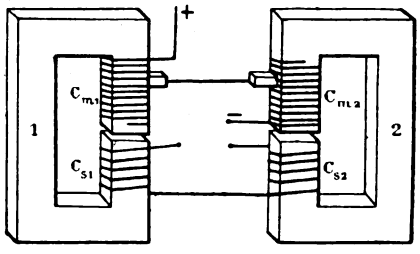


Fig. 2.

électro-aimants semblables 1 et 2, et permet d'obtenir que les deux variations inverses des flux que nous venons d'examiner aient lieu simultanément. Notons qu'ayant supposé dans la figure 2 les deux circuits inducteurs reliés en série, les résistances additionnelles non-inductives ont pu être supprimées, car la constance de la résistance ohmique du circuit total est obtenue par la variation en sens inverse du nombre des spires parcourues par le courant qui appartiennent au deux circuits.

Pour l'analyse des phénomènes, il suffit de considérer la période du mouvement descendant des frotteurs, car le mouvement en sens inverse ne fait qu'invertir le rôle des deux aimants.

Quand les frotteurs descendent, le flux de l'électro-aimant 1 augmente, et celui de l'électro-aimant 2 diminue. Les phénomènes que nous venons d'annalyser se répètent donc. Les équations établies sont naturellement applicables au cas présent, en tenant simplement compte des différences dans les valeurs des symboles dues à la connexion en série. Les équations (3) et (3') donnent par leur addition

$$U\int_0^T I\,dt = R\int_0^T I^2 dt. \qquad (5)$$

Donc, pendant toute la période, le réseau ne fournit que l'énergie transformée en chaleur par effet Joule dans l'enroulement inducteur total. Cela est dû au fait que, comme résultat des variations de l'énergie intrinsèque, l'enroulement de l'électro-aimant 2 cède au réseau une quantité d'énergie égale à celle que l'enroulement de l'électro-aimant 1 absorbe pendant la même période.

Cela ne veut pas dire, nécessairement, que l'énergie cédée soit égale, à chaque instant, à celle absorbée, c'est-à-dire que l'on ait $u_1 I = u_2 I$, ce qui amènerait à l'égalité des valeurs instantanées des deux forces électromotrices. La valeur instantanée du courant sera donc donnée par l'équation

$$I = \frac{U - u_1 + u_2}{R}. \qquad (6)$$

Notons que la condition $u_1 = u_2$, c'est-à-dire l'égalité des valeurs absolues des taux des variations du flux rapportées au temps dans les deux électro-aimants, porte comme conséquence que la somme des deux flux doit se maintenir constante pendant le mouvement des frotteurs. On conçoit aisément que si ce résultat théorique est difficile à atteindre, il peut être suffisamment approché. On peut donc admettre, pour simplifier, la condition ci-dessus $u_1 = u_2$; dès lors la relation (6) se simplifie et devient l'équation (1) qui est celle du régime permanent. On voit donc que, dans ces conditions, idéales le mouvement des frotteurs, tout en donnant lieu à des variations de flux dans chaque électro-aimant, ne donne lieu à aucun phénomène d'induction résultant qui intéresse le réseau d'alimentation.

b) Secondaire a circuit fermé. — A première vue il semble que les conditions restent essentiellement les mêmes. On se dit, en effet, que le courant d'induit aura certainement une influence sur la loi de variation du flux dans chaque électro-aimant, mais qu'en prenant en considération toute la durée de la période variable, et les valeurs initiale et finale du flux dans chaque aimant, la variation globale dans chaque aimant sera encore donnée par la différence $\Phi_a - \Phi_b$, et les deux variations

Digitized by Google

seront encore en sens inverse; donc les forces électromotrices d'induction dans les deux circuits inducteurs seront opposées, et pourront pour plus de simplicité être considérées égales, et s'annuleront si leurs circuits sont connectés en série, en dernière analyse, aucune force électromotrice résultante ne pourra se manifester aux bornes du circuit inducteur total.

La conclusion ci-dessus est cependant absurde, et on peut s'en convaincre par le raisonnement suivant basé sur la loi fondamentale de la conservation de l'énergie et sur la loi d'ohm.

Si les circuits secondaires sont fermés sur eux-mêmes ou sur des résistances extérieures quelconques, les forces électromotrices e_1 et e_2 engendrées par la variation des flux inducteurs donnent lieu à des courants dont nous indiquerons respectivement par i_1 et i_2 les valeurs instantanées. Une certaine quantité d'énergie électrique sera donc transformée en chaleur dans chacun de ces circuits, les valeurs de cette énergie seront respectivement

$$\int_0^T e_1 i_1 \mathrm{d}t \quad \text{et} \quad \int_0^T e_2 i_2 \mathrm{d}t.$$

Il faut donc que les circuits inducteurs respectifs demandent au réseau une quantité correspondante d'énergie, et cela ne peut avoir lieu qu'à condition qu'il naisse dans chacun de ces derniers circuits une force contre-électromotrice telle que, en indiquant respectivement par u_1 et u_2 leurs valeurs instantanées, et par I_1 et I_2 celles des courants respectifs (dans le cas de la connexion en série, on aurait $I_1 = I_2$), l'on ait

$$\int_0^T u_1 I_1 \mathrm{d}t = \int_0^T e_1 i_1 \mathrm{d}t \quad \text{et} \quad \int_0^T u_2 I_2 \mathrm{d}t = \int_0^T e_2 i_2 \mathrm{d}t.$$

Ces deux forces contre-électromotrices u_1 et u_2 ne sont pas les forces électromotrices résultantes qui se manifestent respectivement dans les deux enroulements inducteurs, car, pour déterminer ces dernières, il faudrait tenir compte aussi de la variation de l'énergie intrinsèque qui se produit dans chaque électro-aimant. Cependant, si l'on fait en sorte que les variations en sens opposé des flux dans les deux aimants aient lieu simultanément (comme dans le cas de la figure 2), il en résulte qu'à la fin de la période l'énergie intrinsèque de l'ensemble des deux électro-aimants aura exactement la même valeur qu'elle avait au début. Cela étant, on peut pour simplifier, ne pas se préoccuper des variations de l'énergie intrinsèque dans chaque électro-aimant, puisqu'elles ne donnent pas lieu, dans l'ensemble, à une demande supplémentaire d'énergie.

Sous cette réserve on peut conclure que le résultat final des variations en sens opposé de flux dans les deux électro-aimants est de donner lieu, dans chacun des deux circuits inducteurs, à une force contre-électromotrice. Ces deux forces contre-électromotrices u_1 et u_2 ont donc le même sens et s'ajoutent dans le circuit total, en donnant lieu à une force contre-électromotrice résultante $u = u_1 + u_2$.

La démonstration ci-dessus est péremptoire; cependant nous donnerons encore une démonstration algébrique, basée sur la loi générale de l'induction.

Reprenons encore le dispositif de la figure 1, en supposant seulement que l'enroulement C_s est fermé sur lui-même, ou bien connecté à une résistance extérieure nous indiquerons par r la résistance ohmique du circuit total. Nous employerons les notations dont nous nous sommes déjà servi, et représenterons en plus par $\mathcal{L}'$ le coefficient de self-induction de circuit secondaire et par $\mathfrak{M}$ celui d'induction mutuelle des deux circuits, inducteur et induit.

Notons que les mêmes raisons qui rendent variable le coefficient de self-induction $\mathcal{L}$ du circuit inducteur, rendent aussi variables le coefficient d'induction mutuelle $\mathfrak{M}$.

Ecrivons maintenant les équations qui déterminent, à un instant quelconque de la période variable, la valeur I du courant dérivé de la ligne, et celle i du courant dans le circuit secondaire

$$I = \frac{U - \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(\mathcal{L} I + \mathfrak{M} i)}{R}, \tag{7}$$

$$i = \frac{-\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(\mathcal{L}' i + \mathfrak{M} I)}{r}. \tag{8}$$

En multipliant (7) et (8) respectivement par $I\,\mathrm{d}t$ et $i\,\mathrm{d}t$, ces deux équations donnent par leur addition

$$UI\mathrm{d}t = (I^2 R + i^2 r)\,\mathrm{d}t + I\mathrm{d}(\mathcal{L} I) + i\mathrm{d}(\mathcal{L}' i) + I\mathrm{d}(\mathfrak{M} i) + i\mathrm{d}(\mathfrak{M} I). \tag{9}$$

C'est l'équation des énergies : avant de discuter sur elle nous allons établir celle des tensions. Pour cela, multiplions les deux membres de la relation (8) par le quotient du courant induit au courant inducteur, que nous indiquerons par k; ensuite combinons, par addition, l'équation ainsi obtenue avec la formule (7) nous aurons :

$$U = IR + kir + \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(\mathcal{L} I) + k\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(\mathcal{L}' i) + \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(\mathfrak{M} i) + k\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(\mathfrak{M} I). \tag{10}$$

Notons que ce coefficient k n'est pas constant comme dans les transformateurs statiques usuels où il est pratiquement égal au rapport du nombre de spires des deux circuits, primaire et secondaire, qui est constant. Dans notre cas, par contre, ce rapport est essentiellement variable. Cependant, dans le cas du dispositif de la figure 2, on aura pratiquement $k_1 + k_2 = \text{constante} = k_c$.

Commençons par examiner l'équation (9) : il n'est pas utile de la développer davantage, car elle ne gagnerait pas en simplicité, puisque les coefficients $\mathcal{L}$ et $\mathfrak{M}$ ne sont pas constants. Le premier membre $UI\,\mathrm{d}t$, est l'énergie totale fournie par le réseau pendant le temps $\mathrm{d}t$. Du second membre, le premier terme $(I^2 R + i^2 r)\,\mathrm{d}t$, représente l'energie transformée en

Digitized by Google

chaleur dans les circuits inducteur et induit, tandis que la somme des quatre derniers termes représente la variation (augmentation ou diminution) de l'énergie intrinsèque du groupe entier pendant le même temps dt. De cette somme, le terme $I\,d(\mathcal{L}\,I)$ figure la variation de l'énergie intrinsèque du circuit inducteur; le terme $i\,d(\mathcal{L}\,i)$, celle du circuit secondaire et la somme $I\,d(\mathfrak{M}\,i) + i\,d(\mathfrak{M}\,I)$, la variation de l'énergie intrinsèque mutuelle des deux circuits.

En intégrant pour la durée T d'une variation du flux (augmentation ou diminution) entre les valeurs extrêmes Φ_a et Φ_b, la relation (9) se réduit à :

$$U\int_0^T I\,dt = \int_0^T (I^2R + i^2r)\,dt + \int_0^T I\,d(\mathcal{L}\,I), \quad (11)$$

car la partie restante est égale à zéro par le fait que le courant induit i est nul au commencement et à la fin de la période variable.

Ecrivons l'équation (11) pour les deux cas, augmentation et diminution du flux, nous aurons respectivement :

$$U\int_0^T I_1\,dt = \int_0^T (I_1^2R + i_1^2r)\,dt + \frac{1}{2}(\mathcal{E}_b - \mathcal{E}_a)\,I_c^2, \quad (11')$$

$$U\int_0^T I_2\,dt = \int_0^T (I_2^2R + i_2^2r)\,dt - \frac{1}{2}(\mathcal{E}_b - \mathcal{E}_a)\,I_c^2. \quad (11'')$$

Ces deux équations donnent, par leur addition :

$$U\int_0^T (I_1+I_2)\,dt = R\int_0^T (I_1^2+I_2^2)\,dt + r\int_0^T (i_1^2+i_2^2)\,dt. \quad (12)$$

On voit donc que dans le cas de la simultanéité des deux périodes variables ci-dessus (en supposant donc d'agir sur deux électro-aimants identiques, quel que soit le système de connexion des circuits), le réseau fournit simplement l'énergie transformée en chaleur dans les deux groupes d'enroulements, inducteurs et induits.

Donc, s'il se produit, à certains moments, une demande supplémentaire d'énergie (pour suppléer à une augmentation instantanée de l'énergie intrinsèque du système), il doit y avoir à d'autres moments une restitution d'énergie (comme conséquence d'une diminution de l'énergie intrinsèque), et pendant toute la période T l'énergie ainsi rendue doit être exactement égale à celle supplémentaire absorbée. Cela donnera lieu à des fluctuations dans la demande d'énergie au réseau : mais puisqu'il est possible d'en réduire l'importance, on peut admettre, pour simplifier, qu'elles ne se produisent pas, ce qui revient à négliger les phénomènes secondaires qui y ont rapport.

Passons maintenant à l'examen de l'équation des tensions (10) : le premier terme du second membre est la chute ohmique de tension dans le circuit inducteur. Le deuxième terme, $k\,i\,r$, est proportionnel à une chute ohmique (celle dans le circuit secondaire), mais n'est pas une chute ohmique, car le circuit secondaire n'est pas relié au réseau et l'équation (10) est la relation qui unit les différentes forces électromotrices et chutes de tension dans le circuit alimenté par le réseau. Ce terme ne peut donc être qu'une force électromotrice d'induction. Pour ce qui concerne le signe, ce terme est toujours positif, soit dans le cas de l'augmentation du flux, soit dans celui de la diminution, parce que le coefficient k a le même signe que le courant induit i. Donc, le terme $k\,i\,r$ est une force électromotrice qui s'oppose à la tension du réseau et qui naît dans le circuit inducteur pour qu'un courant d'intensité i puisse circuler dans le circuit secondaire de résistance ohmique r.

Quant aux quatre derniers termes de l'équation (10), ils correspondent aussi à des forces électromotrices d'induction; l'effet de chacune d'elles est de provoquer, soit une demande, soit une restitution d'énergie pour une variation (augmentation ou diminution) de l'énergie intrinsèque d'une partie du système, dont la valeur instantanée est donnée par le terme correspondant de l'équation (9) des énergies.

Supposons maintenant que nous écrivions l'équation (10) pour les deux cas, augmentation et diminution du flux, et que nous fassions encore l'hypothèse qu'on agit sur deux électro-aimants identiques de manière à provoquer simultanément les deux variations inverses : les deux équations ainsi obtenues donneront, par leur addition :

$$2U = (I_1 + I_2)R + (k_1i_1 + k_2i_2)r + \Sigma e_1 + \Sigma e_2, \quad (13)$$

dans laquelle Σe_1 et Σe_2 indiquent respectivement la somme des quatre forces électromotrices ci-dessus, qui naissent respectivement dans le cas de l'augmentation du flux et dans celui de la diminution. Mais par la simplification admise en discutant l'équation (9) la somme de ces deux termes peut être considérée comme nulle.

Appliquons maintenant l'équation (13) au cas particulier de la figure 2 en tenant compte de cette simplification et aussi des différences dans l'interprétation des symboles, autant par la connexion en série des deux circuits inducteurs avec suppression des résistances non inductives additionnelles, que par la connexion en opposition des deux circuits secondaires (r servira maintenant à indiquer la résistance ohmique du circuit total comprenant les deux bobines secondaires et l'éventuelle résistance extérieure), l'équation (13) devient :

$$U = IR + k_c i r,$$

et, en posant $k_c\,i\,r = u$.

$$I = \frac{U - u}{R}, \quad (14)$$

qui est justement ce que nous voulions démontrer.

Donc, si le mouvement des frotteurs est continu, l'appareil transformera le courant continu en un courant alternatif dont la période est déterminée par la durée d'un cycle complet du mouvement des frotteurs (une montée et une descente).

Digitized by Google

IV. — **Fonctionnement inverse de l'appareil. — Courants polyphasés.** — Dans des conditions déterminées, l'appareil peut transformer du courant alternatif en courant continu : pour le démontrer nous nous limiterons, pour abréger, à quelques considérations basées sur la loi de la conservation de l'énergie.

Il est évident que, si l'on se borne à envoyer un courant alternatif monophasé dans le circuit secondaire, sans relier l'autre circuit à un réseau à courant continu, on ne pourra recueillir aux bornes de ce dernier circuit qu'un courant alternatif déformé. Mais le fonctionnement est différent si ce dernier circuit est encore connecté à un réseau à courant continu (dont le but est de fournir aux électro-aimants le courant magnétisant) et si on applique aux extrémités du circuit secondaire une différence de potentiel E de même fréquence que la force électro-motrice e que le mouvement des frotteurs fait naître dans le même circuit, en phase avec elle, mais de sens opposé.

Si $e > E$, on aura

$$i = \frac{e - E}{r} \quad \text{et} \quad ei = i^2 r + Ei, \qquad (15)$$

c'est-à-dire que l'appareil fournit de l'énergie au réseau à courant alternatif.

Si $e = E$, on aura

$$i = ei = i^2 r = Ei = 0, \qquad (16)$$

c'est-à-dire que l'appareil est, en quelque sorte, inerte, car la demande d'énergie au réseau à courant continu, est la même que si tout dans l'appareil était immobile.

Par contre, si $e < E$, on aura

$$i = \frac{E - e}{r} \quad \text{et} \quad Ei = i^2 r + ei, \qquad (17)$$

ce qui nous montre que le courant dans le secondaire change de sens, et que le réseau à courant allernatif fournit non seulement toute l'énergie transformée en chaleur par effet Joule dans le circuit qui y est connecté, mais aussi une puissance supplémentaire, mesurée par ei. Comme cette dernière ne peut pas s'évanouir, il s'ensuit qu'elle sera cédée à l'autre source d'énergie, c'est-à-dire au réseau à courant continu.

On sait qu'un circuit ne peut céder de l'énergie à un réseau qu'à condition d'être le siège d'une force électromotrice d'induction, laquelle peut être, ou de même sens que la tension du réseau, ou de sens opposé, mais il faut alors qu'elle ait une valeur supérieure à celle de la tension du réseau. Dans notre cas, c'est la première condition qui se vérifie. Pour s'en convaincre, il suffit de comparer les équations (15), (16) et (17).

En effet, tant que $e > E$, le réseau à courant continu, fournit une certaine quantité d'énergie en plus de celle transformée en chaleur dans le circuit magnétisant, qui est donc le siège d'une force électromotrice u qui s'oppose à la tension du réseau, et dont la valeur diminue avec la valeur de e (quoique pas dans le même rapport). Quand e devient égale à E, la force électromotrice u est nulle. Dès que e devient inférieure à E, il y aura une cession d'énergie au réseau à courant continu (cette cession peut consister éventuellement dans le fait que le réseau à courant continu ne fournit qu'une partie seulement de l'énergie transformée en chaleur dans le circuit inducteur) et le circuit magnétisant redevient le siège d'une force électromotrice u qui augmente à mesure que e diminue, car l'énergie cédée augmente. (On déduit en effet des équations (17) que cette énergie va en augmentant jusqu'à la valeure de e égale à $\frac{1}{2} E$, et diminue ensuite à partir de cette valeur.) On voit donc que la force électromotrice u qui est négative quand $e > E$, et égale à zéro pour $e = E$, ne peut être que positive quand $e < E$.

L'appareil peut donc transformer du courant alternatif en courant continu.

Supposons que la tension E du courant alternatif et celle U du courant continu sont constantes : pour obtenir que l'appareil fonctionne de la sorte, il faut que la force électromotrice e diminue, et pour cela il faut réduire le courant magnétisant, pour que la variation totale du flux inducteur qui en résulte soit réduite. Donc, si on met en série avec l'enroulement magnétisant soit une résistance ohmique (par exemple, des lampes) soit un circuit offrant aussi une self-induction (par exemple, un moteur à courant continu), le réseau à courant alternatif fournira de l'énergie qui sera utilisée dans le circuit à courant continu. Par contre, l'énergie fournie par le réseau à courant continu sera réduite ; sa valeur maximum correspond au cas où $e = E$, c'est-à-dire quand l'appareil est inerte.

Dans le fonctionnement direct, comme dans celui inverse, la force électromotrice d'induction u qui prend naissance dans le circuit magnétisant de l'appareil, n'a pas une valeur constante, mais présente des ondes, toutes de même sens (deux par chaque période de courant alternatif). Si maintenant l'on suppose d'avoir trois paires d'électro-aimants du type du dispositif de la figure 2, que le mouvement de chaque groupe de frotteurs est lié à celui du précédent avec un décalage d'un sixième de période, il est facile de voir qu'en connectant d'une manière appropriée les trois groupes d'enroulements secondaires, on peut, soit en recueillir un courant triphasé, soit les alimenter avec un tel courant. Si d'autre part les trois groupes d'enroulements inducteurs sont connectés en série ou en parallèle, les ondes — toutes de même sens — des trois forces électromotrices élémentaires qui y prennent naissance donneront lieu à une force électromotrice résultante qui présentera encore des ondulations, mais dont l'importance est relativement minime.

V. — **Artifice permettant de supprimer le commutateur dans le dispositif précédent.** — Le commutateur du dispositif que nous venons d'examiner a un rôle essentiellement différent des commutateurs des machines usuelles, car il ne renverse pas une onde sur

Digitized by Google

deux de la force électromotrice engendrée dans l'enroulement, mais il présente cette force électromotrice au réseau dans sa forme primitive.

D'une manière idéale, le jeu des frotteurs dans le dispositif de la figure 2 est de maintenir constante la longueur totale du fil conducteur connecté à la ligne et appartenant à l'ensemble des deux enroulements inducteurs, tout en faisant varier en sens inverse les longueurs partielles de ces deux enroulements considérés séparément.

Cette remarque suggère la solution représentée dans la figure 3, solution peu pratique, en vérité, mais qui permet d'éliminer le commutateur.

Le fil conducteur qui constitue la bobine magnétisante de chaque électro-aimant est enroulé sur un tambour

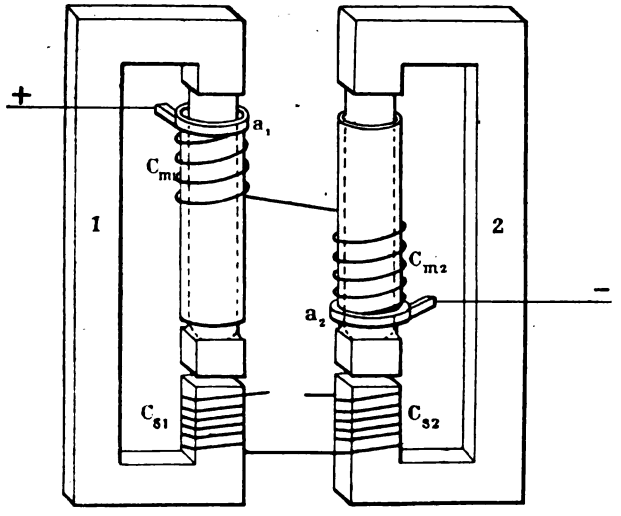


Fig. 3.

isolant, libre de tourner autour de son axe : le noyau de l'aimant aura donc, à l'endroit correspondant, une forme cylindrique. Les bobines du couple d'électro-aimants 1 et 2 sont constituées par le même fil, dont un des bouts est fixé à une bague métallique a_1 qui fait partie du tambour mobile de l'électro-aimant 1, tandis que l'autre bout est fixé à un autre anneau a_2 qui fait partie du tambour mobile de l'électro-aimant 2. Le courant continu est envoyé dans l'ensemble par des balais fixes qui appuient sur les bagues mobiles.

Le fil peut être enroulé soit entièrement autour du noyau de l'électro-aimant 1, soit entièrement autour de celui de l'électro-aimant 2, soit en partie autour de l'un et en partie autour de l'autre. Si l'on fait tourner le tambour de l'électro-aimant 1 dans un sens déterminé, le fil se déroule du tambour de l'électro-aimant 2 pour s'enrouler sur celui de l'électro-aimant 1 ; en faisant tourner le tambour de l'électro-aimant 2 en sens opposé, on obtient le résultat contraire. Dans le premier cas, le flux de l'électro-aimant 1 augmente, tandis que celui de l'électro-aimant 2 diminue ; dans le second cas, les flux varient en sens opposé.

Nous obtenons par conséquent les mêmes résultats que dans le dispositif de la figure 2 par le mouvement descendant et ascendant des frotteurs. Il est parfaitement évident que la rotation des tambours est contrariée uniquement par les résistances mécaniques de frottement, et ne demande aucun travail en dehors de celui nécessaire pour les vaincre : c'est donc exactement ce qui se passait dans le cas du mouvement des frotteurs.

Il est aussi évident que les phénomènes d'induction qui se manifestent dans les enroulements de l'appareil ne sont nullement affectés par le fait que la variation des flux inducteurs est obtenue par cette rotation plutôt que par l'artifice du mouvement des frotteurs, car ces phénomènes dépendent exclusivement de la loi de la variation des flux. Il s'ensuit que le raisonnement fait à propos du dispositif de la figure 2 est parfaitement applicable à celui de la figure 3 : nous pouvons donc en accepter les conclusions.

Il reste donc prouvé qu'il est possible de provoquer périodiquement, dans un groupe d'électro-aimants alimentés sous tension constante par un courant continu, des variations statiques des flux telles que l'enroulement inducteur devienne le siège d'une force électromotrice d'induction continue, de sorte qu'il n'est pas nécessaire d'introduire entre cet enroulement et le réseau à courant continu un commutateur redresseur.

VI. — **Dispositif basé sur la variation de la réluctance, par le déplacement d'une partie du circuit magnétique.** — Supposons que, dans chaque électro-aimant, une partie du noyau en fer puisse être déplacée, de manière à pouvoir laisser un large espace d'air. Supposons encore qu'on rende solidaires les sections mobiles des deux aimants de telle sorte que lorsque l'une d'elles se trouve dans la position la plus éloignée de l'aimant correspondant, la position de l'autre section est telle qu'elle complète le circuit magnétique de l'autre aimant, et encore, que lorsque la première s'approche de son propre aimant, l'autre s'éloigne du sien. De cette manière, pendant que la réluctance du premier aimant va en diminuant, celle de l'autre va en augmentant.

Rappelons que par les hypothèses faites au commencement de cette étude, le coefficient de self-induction $\mathcal{L}$ est directement proportionnel au nombre de spires, et inversement proportionnel à la réluctance magnétique, et que, par conséquent, la même variation de $\mathcal{L}$ peut être obtenue soit en agissant en un certain sens sur le nombre de spires (comme il a été fait dans les deux dispositifs précédents), soit en agissant en sens inverse sur la réluctance.

Cela s'applique naturellement aussi aux autres coefficients $\mathcal{L}'$ et $\mathcal{M}$. Néanmoins il est à remarquer que dans les dispositifs précédents le coefficient de self-induction $\mathcal{L}'$ du circuit induit était constant, car on n'en modifiait pas le nombre de spires, tandis que dans le cas présent, étant donné que le circuit magnétique est commun aux enroulements inducteur et induit, toute variation dans sa réluctance a un effet non seulement

Digitized by Google

sur le coefficient du circuit inducteur, mais aussi sur celui du circuit induit.

On voit donc que, pour rendre les deux cas parfaitement semblables, on aurait dû, dans les dispositifs des figures 2 et 3, faire varier aussi le nombre de spires du circuit induit d'une façon analogue que pour le circuit inducteur. Si l'on avait agi de la sorte, les valeurs de I et i auraient été certainement différentes, car dans les équations (7) et (8) on aurait eu pour les dérivées de $\mathcal{L}'$ et $\mathfrak{M}$ des valeurs différentes. Mais ces équations auraient subsisté, et comme le raisonnement que nous avons fait n'est pas basé sur des valeurs particulières de $\mathcal{L}$, $\mathcal{L}'$ et $\mathfrak{M}$, il est parfaitement évident que nous serions encore arrivés aux mêmes conclusions.

Cela étant, ces mêmes conclusions sont applicables au cas présent : en effet, nous venons de voir qu'il est théoriquement possible d'obtenir les mêmes variations des trois coefficients d'induction ci-dessus, soit par la variation du nombre de spires, soit par celle de la réluctance ; nous avons démontré que, quand ces variations sont dues au premier artifice, l'énergie électrique recueillie aux bornes d'un des deux circuits de l'appareil provient de la transformation de l'énergie absorbée par l'autre circuit ; nous savons en outre que les valeurs instantanées de I et i dépendent exclusivement de la loi des variations de ces coefficients [voir les équations (7) et (8)] ; il en résulte donc que les mêmes conclusions sont vraies quand ces variations sont obtenues par la variation de la réluctance.

Notons qu'une conséquence immédiate de ce qui précède est que le déplacement des sections mobiles en fer n'est contrarié que par les résistances de frottement. Cela n'était pas évident a priori, car tandis que dans le dispositif de la figure 2 il est de toute évidence que le mouvement des frotteurs ne peut être contrarié par aucune résistance provenant des phénomènes électromagnétiques que ce mouvement provoque dans l'appareil ; ce n'est pas le cas quand il s'agit du mouvement d'une partie du circuit magnétique, car l'on pense, par analogie, aux alternateurs du type « à fer tournant ». Cependant cela peut être prouvé facilement d'une manière directe, et nous en donnerons la démonstration, qui servira à confirmer celle qui précède.

Faisons remarquer tout d'abord qu'entre l'appareil en question et les alternateurs à fer tournant il y a une différence fondamentale : dans ces derniers les lignes de force magnétiques sont entraînées par le fer mobile, et se déplacent donc par rapport à l'enroulement induit qui est fixe ; il s'agit donc de phénomènes d'induction dynamique ; par contre, dans notre cas, le mouvement du fer provoque la variation du flux, mais les lignes de force se maintiennent fixes par rapport aux enroulements : il s'agit donc de phénomènes d'induction statique.

Prenons en considération le dispositif schématique de la figure 4 : les pôles N_1 et S_1, N_2 et S_2 appartiennent à deux électro-aimants distincts, et la variation en sens inverse de leur réluctance est obtenue par le mouvement d'un anneau constitué par des segments A en matière non magnétique, alternés avec des segments B en fer (les premiers peuvent être remplacés par des espaces d'air). La largeur de ces segments est supposée égale à la distance entre les axes des deux aimants.

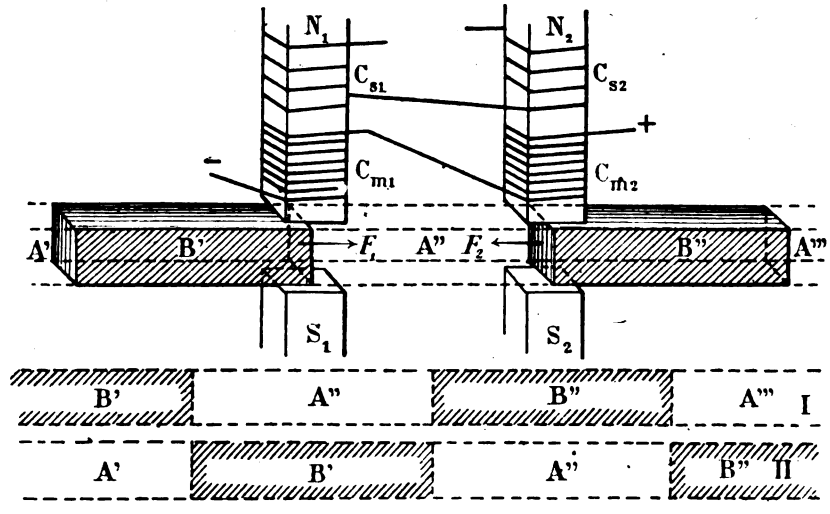


Fig. 4.

Il suffit, pour l'analyse des phénomènes, de considérer le déplacement de l'anneau entre les positions I et II indiquées en pointillé dans le bas de la même figure (ce déplacement correspond à une demi-période du courant alternatif).

Que le mouvement du noyau ne donne pas lieu à un mouvement analogue des lignes de force, ne fait pas l'ombre d'un doute. Si on pense, en effet, que toutes les lignes de force engendrées par une spire parcourue par un courant doivent passer nécessairement entre l'espace limité par le contour de la spire, et en outre que les lignes de force tendent à suivre le chemin le plus perméable, il est facile de voir que le mouvement de l'anneau provoquera des mouvements locaux, dans les deux sens, d'une partie des lignes de force des deux champs, mais non un mouvement général. Le flux de chaque électro-aimant variera d'intensité, mais sa position dans l'espace reste déterminée par celle du circuit magnétisant C_m qui l'engendre et qui est fixe ; et puisque le circuit secondaire C_s est aussi fixe, il en résulte qu'il n'y aura pas de mouvement relatif entre ce dernier et le flux inducteur.

Examinons maintenant l'action des deux champs magnétiques sur l'anneau, et pour cela, considérons le circuit secondaire d'abord à circuit ouvert, et ensuite à circuit fermé.

Digitized by Google

a) Secondaire a circuit ouvert. — Considérons séparément l'action de l'aimant $N_1 - S_1$ sur le segment B', et celle de l'aimant $N_2 - S_2$ sur B'' (nous supposerons négligeable l'action du premier l'électro-aimant sur B'' et du second sur B'). Il est évident que le mouvement de B' en est aidé, tandis que celui de B'' en est contrarié. Cela veut dire que les deux champs donnent naissance à deux forces magnétiques de sens opposé, que nous indiquerons respectivement par F_1 et F_2. L'intensité de ces forces varie suivant la position de l'anneau; en outre elles ne sont pas en général égales. Cependant, comme elles ont la même valeur moyenne, nous pouvons admettre, pour simplifier, que l'on ait à chaque instant $F_1 = F_2$.

(Notons du reste que dans un appareil comportant un certain nombre de couples d'électro-aimants et d'anneaux, si on donne à ces derniers un certain décalage, on pourra avoir à chaque instant $\Sigma F_1 = \Sigma F_2$.)

Donc, de même que pour le mouvement des frotteurs dans le dispositif de la figure 2, le mouvement de l'anneau n'a à vaincre, en dernière analyse, que les seules résistances de frottement. La seule différence entre les deux mouvements est la suivante : le mouvement des frotteurs n'est affecté par l'action des champs magnétiques considérés séparément, tandis que celui de l'anneau est aidé par un champ, et contrarié par l'autre; de sorte que la bobine magnétisante qui engendre le deuxième cède au réseau à courant continu une quantité d'énergie égale à celle absorbée par la bobine qui engendre le premier.

C'est donc une caractéristique particulière à l'artifice actuel; les autres phénomènes, par contre, sont communs à tous les artifices, car ils dépendent de la loi de la variation des flux. Ainsi, en ce qui concerne la variation de l'énergie intrinsèqne des deux électro-aimants, les phénomènes sont exactement les mêmes que ceux analysés à propos du dispositif de la figure 2, ce qui nous dispense d'y insister.

b) Secondaire a circuit fermé. — Pour fixer les idées, nous supposerons qu'il est fermé sur un circuit résistant. Le fait que le circuit secondaire est fermé ne donne pas naissance à un couple résistant, car les lignes de force ne se déplacent pas par rapport à ce circuit. En effet, la présence d'une spire donne lieu à un couple résistant quand le flux embrassé par la spire varie, non comme conséquence d'une variation statique, c'est-à-dire quand le flux sortant du pôle varie, mais par le fait qu'une partie du flux qui, à un moment donné se trouve à l'intérieur de la spire, passe l'instant après à l'extérieur, ou vice versa. C'est la première condition qui se vérifie dans notre cas, car chaque spire de l'enroulement secondaire embrasse à chaque moment toutes les lignes de force qui sortent du pôle correspondant.

Donc, aucun couple dû aux phénomènes électromagnétiques ne peut s'opposer au mouvement de l'anneau, et comme la naissance d'un couple est le seul moyen par lequel une certaine quantité d'énergie peut être fournie par la source d'énergie qui tient l'anneau en mouvement, il s'ensuit que l'énergie électrique engendrée dans le circuit secondaire ne peut provenir que de la transformation de celle demandée au réseau à courant continu par le circuit inducteur.

Pour être précis, un couple résistant naît dans l'anneau, mais comme effet secondaire, comme conséquence d'une réaction d'induit spéciale — comme elle peut se prêter à une fausse interprétation, nous allons l'examiner.

Le raisonnement précédent est basé sur la condition idéale $F_1 = F_2$, qui est justifiée quand les seuls flux en jeu sont les flux inducteurs. Mais si le secondaire est fermé, le courant i qui y circule donne lieu dans le circuit magnétique de N_1-S_1 à un flux qui s'oppose au flux inducteur, et dans celui de N_2-S_2, à un flux qui s'ajoute au flux inducteur. Il en résulte que la force magnétique F_1 est affaiblie, tandis que F_2 est renforcée; l'équilibre est donc rompu, et le mouvement de l'anneau se trouve contrarié par une force résultante égale à la différence de ces nouvelles forces.

Par les hypothèses faites (perméabilité constante et dispersion nulle) l'intensité de cette résultante ne dépend pas de la valeur absolue des flux magnétiques, mais seulement de leur différence, — et donc exclusivement du courant secondaire i. Notons en passant que cet effet est maximum quand le courant i est en phase avec la force électromotrice d'induction e.

Il est facile de voir que nous sommes en présence d'un phénomène secondaire. On pourrait, en effet, en réduire l'importance en augmentant l'épaisseur de l'entrefer sur le devant des segments B, à condition que l'anneau soit destiné à tourner toujours dans le même sens. Mais indépendamment de cela, il suffit, pour s'en convaincre, le raisonnement « à l'absurde » suivant :

Supposons pour un instant que l'énergie engendrée dans le secondaire provienne exclusivement de la transformation de l'énergie mécanique dépensée par le mouvement de l'anneau. La puissance correspondante est mesurée par $e\,i$. Supposons maintenant que l'on essaie d'augmenter la tension du réseau à courant continu pour que la variation totale de chacun des flux inducteurs en résultant soit augmentée. Dans le secondaire nous aurons donc une nouvelle force électromotrice d'induction $e' > e$; — nous pourrons cependant y faire circuler le même courant i — (en augmentant la résistance du circuit extérieur). — La puissance électrique ainsi produite sera $e'\,i > e\,i$, tandis que le couple résistant n'aura pas augmenté. Il en résulte que la source d'énergie mécanique devra pouvoir fournir une plus grande quantité d'énergie, et cela avec le même couple résistant; or, puisque la vitesse n'en est pas affectée, cela est évidemment absurde.

Nous pouvons donc conclure que, comme fonctionnement général, l'appareil de la figure 4 ne diffère pas substantiellement de ceux des figures 2 et 3.

L'appareil transforme donc du courant continu en courant alternatif, et dans les conditions déjà énoncées peut fonctionner en sens inverse.

Le dispositif de la figure 4 permet de réaliser des

Digitized by Google

machines absolument pratiques; cependant nous ne nous arrêterons pas sur ce point, parce que nous croyons que l'application la plus intéressante du principe que nous venons d'exposer est celle aux machines à courant continu (et éventuellement aux moteurs à courant monophasé) sans commutateur.

Pour abréger, nous nous limiterons à examiner le cas, le plus intéressant entre tous, des moteurs à courant continu.

Application du principe aux moteurs à courant continu sans commutateur.

I. — Dispositifs préliminaires permettant un déplacement limité. — Pour faire ressortir nettement le côté caractéristique du système, nous allons le comparer à d'autres dispositif. Dans les figures qui suivent nous continuerons, pour simplifier, à représenter les machines développées en ligne droite.

a). Dispositif de la figure 5. — Le système inducteur fixe est constitué par un couple unique de pôles N et S indéfinis, appartenant au même électro-aimant. Entre ces pôles peut se déplacer un anneau en fer pré-

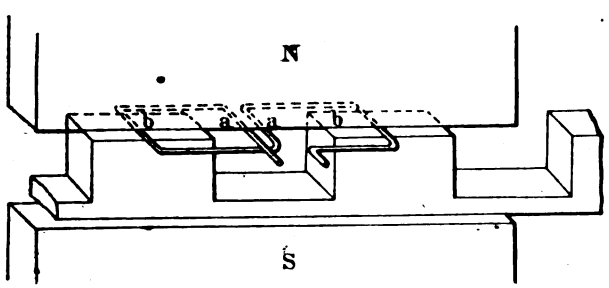


Fig. 5.

sentant de larges dents séparées par de grands espaces d'air. A part l'enroulement induit, dont nous parlerons plus loin, cet arrangement est semblable à celui de certains alternateurs à fer tournant : c'est donc l'anneau denté mobile qui constitue en réalité l'inducteur, et nous pouvons conclure que les lignes de force sont entraînées par les dents.

Fixons maintenant à l'anneau un enroulement comme celui indiqué par la figure, c'est-à-dire dont chaque spire élémentaire aura un côté actif, a, dans la partie centrale d'un creux, et l'autre côté, b, dans celle d'une dent.

Si l'armature (anneau et enroulement) est mise en mouvement, les conducteurs a seront toujours dans une région où le champ magnétique est très faible, tandis que les conducteurs b se trouveront dans une région où le champ est très intense. Cependant, l'enroulement n'est le siège d'aucune force électromotrice d'induction, car il n'y a pas de mouvement relatif entre les conducteurs et les lignes de force.

Inversement, si l'armature est immobile, et si on envoie un courant continu dans cet enroulement (à l'aide de balais et bagues non figurés), aucun couple moteur résultant n'agira sur l'armature, car si un couple quelconque agissait sur l'enroulement, un couple égal et de sens opposé agirait sur le champ inducteur, c'est-à-dire sur l'anneau. -

b). Dispositif de la figure 6. — Il diffère du précédent en ce que la partie fixe, au lieu de comporter un seul couple de pôles N et S indéfinis, en comporte plu-

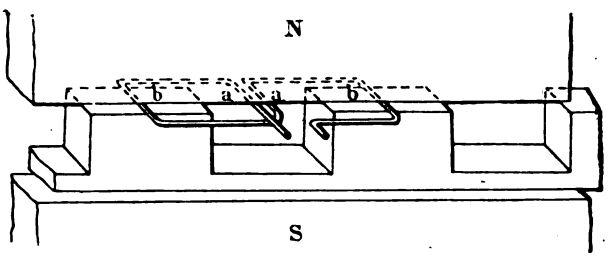


Fig. 6.

sieurs de longueur finie et identiques (un seul est montré sur la figure). Nous admettrons pour simplifier que l'anneau ait la denture faite en sorte que le mouvement ne fasse pas varier la quantité totale Φ du flux sortant de chaque pôle.

A part la disposition de l'enroulement induit, et les plus grandes dimensions des dents et des creux, cet arrangement est semblable à celui des machines électriques à induit denté. La plus grande partie du flux passe du pôle N au pôle S à travers les dents, et les faisceaux des lignes de force sont donc entraînés par elles; cependant, comme les pôles ont une longueur finie, il faut que les lignes de force sautent à un moment donné d'une dent à la suivante. Elles se déplacent donc par rapport aux conducteurs de l'induit; mais quoique les deux groupes de conducteurs a et b se trouvent (lorsqu'ils sont sous le pôle) dans des régions du champ qui ont des intensités différentes, le mouvement n'engendre dans l'enroulement aucune force électromotrice résultante.

Cela est dû au fait que les conducteurs opposés de chaque spire, en passant d'une extrémité à l'autre du champ inducteur, coupent exactement le même nombre de lignes de force, représenté par le flux entier Φ. (Le mot « couper » n'est pas, à la rigueur, approprié au conducteur a; mais l'effet électromagnétique est le même, car le flux Φ, qui se trouve d'un côté du conducteur au commencement de la période susdite, se trouvera de l'autre côté à la fin.)

Chaque conducteur sera donc le siège d'une force électromotrice d'induction $e = -\frac{d\Phi}{dt}$. Ces deux forces électromotrices étant de même sens, s'annulent dans chaque spire, (tout au plus pourraient donner lieu, s'il y a décalage, à une résultante alternative).

Inversement, si un courant continu est envoyé dans

Digitized by Google

l'enroulement, chaque spire sera soumise à deux couples égaux et de sens opposé qui agissent sur les deux côtés a et b. D'autre part, aucun couple n'agit sur l'anneau pris isolément. L'armature ne sera donc pas sollicitée à se déplacer.

c) Dispositif de la figure 7. — Le système inducteur comporte une série d'électro-aimants séparés et

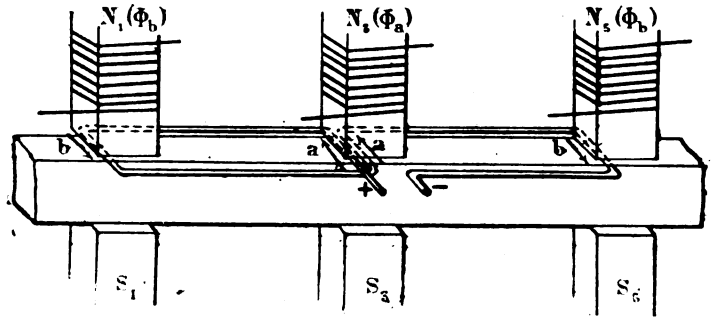


Fig. 7.

identiques mais non également excités. Ainsi l'aimant $N_3 - S_3$ est faiblement excité, tandis que les aimants $N_1 - S_1$ et $N_5 - S_5$ sont fortement excités. Le premier donnera donc lieu à un flux très faible Φ_a, tandis que chacun des deux autres donnera lieu à un flux intense $\Phi_b > \Phi_a$. Nous indiquerons respectivement par h et $\mathcal{H}$ l'intensité moyenne des champs magnétiques : on aura également $\mathcal{H} > h$.

L'anneau mobile, de section constante, est pourvu d'un enroulement caractérisé par le fait que la dimension d'une spire dans le sens du mouvement est déterminée par la distance entre les axes de deux pôles consécutifs.

Mettons l'anneau en mouvement, mais limitons-nous à considérer la période pendant laquelle les conducteurs *a* passent d'une extrémité à l'autre du champ de $N_3 - S_3$, en coupant par conséquent toutes les lignes de force sortant du pôle et mesurées par Φ_a. Pendant la même période, les conducteurs *b* se déplacent sous les autres pôles et coupent chacun toutes les lignes de force sortant du pôle respectif, mesurées par Φ_b.

Ce dispositif diffère donc de celui de la figure 5, parce que le mouvement de l'anneau ne donne lieu à aucun mouvement des lignes de force, et de celui de la figure 6, parce que les deux côtés opposés d'une même spire se déplacent simultanément sous deux pôles distincts et coupent un nombre différent de lignes de force.

Il n'y a donc pas de doute que ces deux côtés seront le siège de forces électromotrices d'induction d'intensités différentes, respectivement $e_a = -\frac{d\Phi_a}{dt}$, et $e_b = -\frac{d\Phi_b}{dt}$. La spire sera donc le siège d'une force électromotrice résultante

$$e = -\frac{d(\Phi_b - \Phi_a)}{dt} = e_b - e_a. \qquad (18)$$

Inversement, si on envoie dans l'enroulement un courant continu i ayant le sens des flèches et si l'armature se trouve dans la position indiquée par la figure, sur les côtés a agira un couple proportionnel au produit $h\,i$, dirigé vers la gauche, tandis que sur les côtés b agira un couple proportionnel à $\mathcal{H}i$ et dirigé vers la droite. Sur l'ensemble agira donc un couple résultant C, donné par l'expression

$$C = K(H - h)\,i, \qquad (19)$$

(K étant une constante) dirigé vers la droite et si le couple résistant est inférieur à cette valeur, l'armature se mettra en mouvement.

On serait arrivé naturellement aux mêmes conclusions en prenant en considération la variation du flux dans chaque spire qui est, pour le déplacement total ci-dessus, mesurée par $\Phi_b - \Phi_a$.

Ce dispositif ne permet évidemment qu'un déplacement limité, car quand les côtés a se trouvent sous l'action des pôles fortement excités et les côtés b sous celle des pôles faiblement excités, le couple résultant change de signe.

d) Dispositif de la figure 8. — Il diffère du précédent en ce que la différence des flux engendrée par deux pôles consécutifs, au lieu d'être provoquée par une différence dans la force magnétomotrice, l'est par une différence dans la réluctance. L'anneau est constitué par des segments A en matière non magnétique (ou air) et des segments B en fer, alternés. Ces segments sont supposés d'ampleur suffisante pour qu'un déplacement égal à la moitié de la longueur d'un pôle, dans un sens ou dans l'autre à partir de la position de symétrie de A

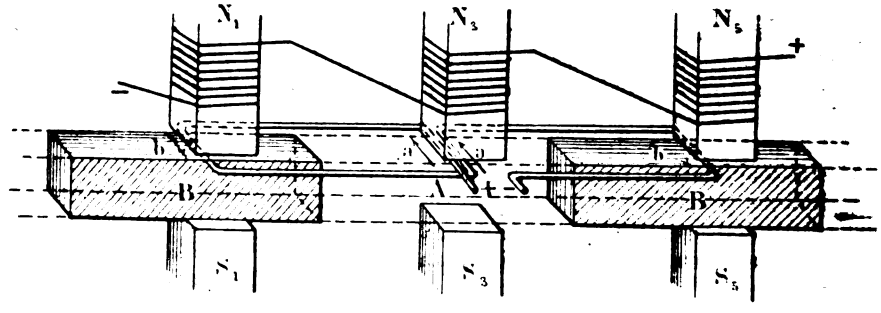


Fig. 8.

Digitized by Google

par rapport à $N_3 - S_3$, ne donne pas lieu à une différence appréciable dans la quantité de flux engendré par chaque pôle. Cela veut dire aussi qu'entre ces limites, le mouvement de l'anneau ne donne pas lieu à un mouvement appréciable des lignes de force.

Au point de vue de l'action relative des conducteurs induits et des champs inducteurs, les conditions sont les mêmes que dans le dernier dispositif : nous pouvons donc en accepter les conditions.

En résumé, les deux derniers dispositifs permettent d'obtenir un déplacement limité. Pendant le déplacement entier, le flux embrassé par chaque spire varie, comme on l'a vu, de la quantité $\Phi_b - \Phi_a$, et cette variation fait naître dans les spires élémentaires des forces électromotrices d'induction qui s'ajoutent dans l'enroulement, en donnant lieu à une force contre-électromotrice e, qui permet justement de demander au réseau à courant continu qui l'alimente l'énergie nécessaire pour le mouvement.

II. — Dispositifs permettant d'obtenir un mouvement continu. — La combinaison des dispositifs de la figure 7 et de la figure 8 respectivement avec ceux de la figure 2 (ou fig. 3) et de la figure 4, rend possible la continuité du mouvement.

a) Combinaison des dispositifs des figures 2 et 7. — Examinons de nouveau le dispositif de la figure 7 et supposons que l'on introduise entre les électro-aimants existants d'autres électro-aimants, $N_2 - S_2$, $N_4 - S_4$ et $N_6 - S_6$, comme il est indiqué dans la figure 9, le premier et le troisième faiblement excités et le deuxième fortement excité; admettons, en outre, qu'au moment où l'on envoie un courant continu i dans l'enroulement induit, ce dernier se trouve dans la position indiquée.

Il est clair que la présence des nouveaux pôles ne modifie pas les conditions préexistantes, de sorte que l'armature sera encore sollicitée à se déplacer vers la droite par un couple égal à $K(\mathcal{M} - h)\,i$. Pour un déplacement total de l'armature égal à la longueur des champs, le flux embrassé par chaque spire variera comme précédemment de $\Phi_b - \Phi_a$. Supposons maintenant que l'armature entraîne dans son déplacement un système de frotteurs qui agissent sur l'excitation des nouveaux aimants, pour augmenter le flux émanant du pôle N_2 (ainsi que celui de N_6) et réduire celui émanant du pôle N_4; en outre, et pour simplifier, que la valeur absolue de la variation ainsi obtenue soit pour chaque pôle égale à celle que le mouvement des conducteurs dans les champs de N_1, N_3 et N_5 occasionne dans chaque spire. (Pour ne pas compliquer la figure, les frotteurs ne sont pas représentés.)

Il est évident que l'introduction de ces frotteurs ne fait, dans la position initiale de repos, qu'ajouter leurs résistances de frottement à celles de l'armature, mais ne modifie en rien le couple moteur. En effet, aucune variation peut se vérifier dans ce dernier par le fait que successivement, c'est-à-dire après que le mouvement a pris origine, les flux émanant des pôles intermédiaires N_2 et N_4 changeront, et cela parce que ces changements ne sont pas une conséquence nécessaire des phénomènes électromagnétiques qui déterminent le mouvement, mais sont dus exclusivement à un artifice qui n'entre en jeu qu'après que le mouvement a commencé.

Si le couple résistant est encore inférieur au couple moteur, le mouvement aura donc lieu. En outre, quand les conducteurs b viennent à se trouver sous l'action des pôles N_2 et N_6, le sens du couple moteur ne changera pas, de sorte que le mouvement continuera.

L'effet résultant de la combinaison du mouvement des spires et de celui des frotteurs est donc que le mouvement est continu; mais il est aussi que le flux embrassé par chaque spire se maintient constant. Par conséquent, l'enroulement induit ne peut être le siège d'aucune force contre-électromotrice, de sorte qu'il ne peut demander au réseau que la quantité d'énergie électrique qui est transformée en chaleur par effet Joule dans l'enroulement même.

On se trouve donc devant une apparente absurdité : création de mouvement, — et par suite de travail mécanique — sans une absorption correspondante d'énergie électrique. Mais il s'agit tout simplement d'une fausse interprétation, causée par le fait que l'on est habitué à voir dans le moteur à courant continu que l'énergie électrique nécessaire pour le mouvement est demandée au réseau par l'enroulement induit. Il est facile de voir

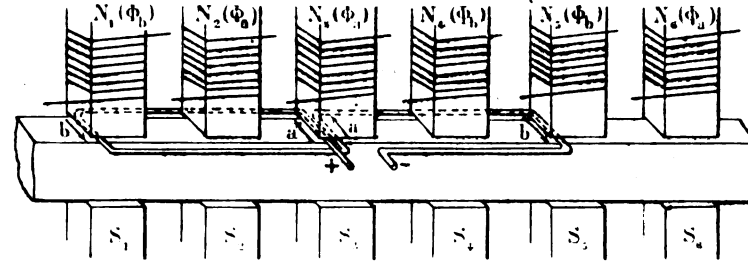


Fig. 9.

que dans le cas présent, c'est par l'enroulement inducteur que cette demande est faite.

Il suffit, en effet, de se rappeler que la constance du flux embrassé par chaque spire est le résultat de deux variations simultanées en sens opposé, dues à deux causes entièrement distinctes : le mouvement de l'enroulement et le mouvement des frotteurs. Nous n'avons donc qu'à examiner séparément ces deux mouvements pour un déplacement égal à la longueur d'un champ.

1. — Par l'effet du mouvement de l'enroulement (provoqué par les phénomènes électromagnétiques), le flux embrassé par chaque spire varie de la quantité $\Phi_b - \Phi_a$; les champs qui provoquent ces variations sont exclusivement ceux des pôles tels que N_1, N_3 et N_5. Le sens de

Digitized by Google

ces variations est tel que le circuit total est le siège d'une force contre-électromotrice e, qui permet de demander au réseau la puissance nécessaire au mouvement qui est mesurée par $e\,i$ (i étant le courant qui circule dans l'enroulement induit).

2. — Par l'effet du mouvement des frotteurs (provoqué par le mouvement de l'enroulement, mais qui pourrait éventuellement être dû à un agent indépendant quelconque), le flux sortant des pôles intermédiaires tels que N_2 et N_4, varie et provoque dans chaque spire une variation statique de flux égale et de sens contraire à la précédente, de sorte qu'il naît dans l'enroulement une force électromotrice de même sens que la tension du

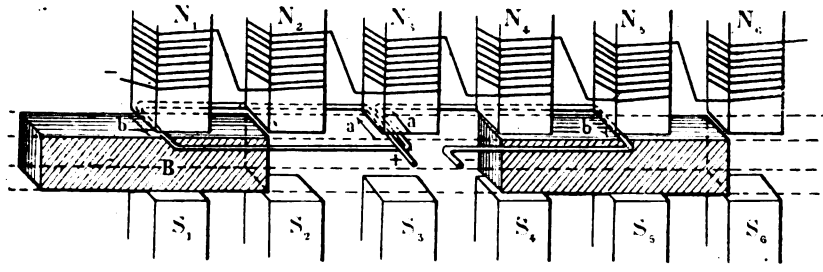


Fig. 10.

réseau. Par cette transformation statique, l'enroulement cède au réseau une quantité d'énergie $e\,i$ égale à celle absorbée comme conséquence de son mouvement. Mais d'un autre côté, et conformément à ce que nous avons vu en discutant le dispositif de la figure 2, une force contre-électromotrice u naît dans le circuit inducteur de l'ensemble des aimants tels que $N_2 - S_2$ et $N_4 - S_4$ et si I est le courant qui y circule, on aura $u\,I = e\,i$.

En conclusion, l'enroulement de l'armature finit par n'absorber que l'énergie électrique qui y est transformée en chaleur par effet Joule, tandis que l'enroulement inducteur absorbe une quantité supplémentaire d'énergie égale à celle transformée en travail mécanique.

Ce dispositif comporte un commutateur qui pourrait cependant être éliminé si, dans la combinaison ci-dessus, le dispositif de la figure 2 était remplacé par celui de la figure 3. Naturellement, le dispositif qui en résulterait ne serait rien moins que pratique : on pourrait cependant le réaliser.

b) Combinaison des dispositifs des figures 4 et 8. — La discussion qui précède nous permet de passer sur celle qu'on devrait faire sur le dispositif de la figure 10, car cette dernière n'en serait que la répétition presque textuelle. Ici aussi, le mouvement de l'armature peut être décomposé en deux : celui de l'enroulement, qui lui fait demander au réseau la puissance $e\,i$ qui est transformée en puissance mécanique et celui de l'anneau, qui fait céder au réseau par le même enroulement une quantité égale de puissance qui provient d'une transformation statique et par laquelle une égale puissance $u\,I$ doit être demandée au réseau par l'enroulement inducteur où, en dernière analyse, naît la force contre-électromotrice résultante du moteur.

Le dispositif schématique de la figure 10 ne comporte aucun commutateur divisé, mais rien que des bagues ; ces dernières pourraient, dans d'autres arrangements, être éliminées. Ce dispositif permet de réaliser des moteurs pratiques qui, en plus de la suppression du commutateur, permettraient d'obtenir, pour les grandes puissances et les tensions élevées, une sensible économie de matériel et un meilleur rendement.

Mais la description des différents types de machines qui peuvent résulter de l'application du principe que nous venons d'exposer sort du cadre de la présente étude qui a seulement pour but de démontrer la possibilité d'une solution directe des machines à courant continu sans commutateur divisé.

O. Li Gotti.

Revues, analyses et informations

Théorie simplifiée de la chute cathodique dans les gaz, avec application aux cathodes planes et filiformes (1).

Considérations générales. — On désigne sous le nom de « chute cathodique » la différence de potentiel entre la cathode et la lueur négative fortement conductrice qui se produit quand on maintient une décharge lumineuse dans un gaz raréfié. On la mesure en branchant un électromètre entre la cathode et un fil d'épreuve inséré quelque part dans la lueur négative. Les mesures indiquent qu'elle est constituée par deux parties distinctes : a la différence de potentiel entre la lueur négative et un point du gaz voisin de la cathode ; b une différence de potentiel de polarisation entre ce point et la cathode provenant d'une accumulation d'ions très prononcée sur la cathode. Avec de faibles densités du courant, le terme a est habituellement un peu supérieur à b. Quand le courant augmente, a diminue habituellement et b augmente toujours, en sorte qu'il devient bientôt le terme le plus important.

L'auteur a étudié dans un autre mémoire la différence de

(1) C.-A. Skinner. *Physical Review*, août 1918, 2e série, t. XII, p. 143-157, 5 500 mots, 4 fig., 7 tab.

Digitized by Google

potentiel de polarisation (1). Il l'attribue à la réflexion sur la cathode des ions de la décharge et il la considère comme proportionnelle au gradient de potentiel par libre parcours moyen des ions positifs immédiatement avant qu'ils pénètrent dans la région de polarisation. Le facteur de proportionnalité varie nettement avec les différents métaux ; il varie d'une manière à peine appréciable pour les différents gaz utilisés, hydrogène, azote, oxygène.

L'explication qu'on peut donner de la chute dans le gaz, entre la lueur négative et la zone de polarisation est plus compliquée. On peut admettre que, sous l'influence du bombardement par les ions positifs accumulés, la cathode donne naissance à un courant électronique de densité très faible, de l'ordre de 10^{-8} A : cm^2. Entraînés à travers le gaz par le champ électrique intense, les électrons augmentent de nombre à chaque choc ionisant et produisent en même temps un nombre égal d'ions positifs. Comme on peut admettre qu'il n'y a pas de recombinaison appréciable, le courant négatif en chaque point est mesuré par le nombre d'électrons produits par seconde entre la cathode et ce point. De même, le courant positif est mesuré par l'afflux d'ions positifs issus par seconde de la lueur négative, augmenté du nombre produit par seconde entre la lueur négative et le point envisagé. Les conditions réalisées dans la lueur négative permettent d'évaluer ces deux courants en grandeurs relatives. Le gradient de potentiel y étant minimum, la densité de charge est nécessairement nulle, ce qui signifie que les deux électricités ont des densités égales. Le gradient étant très faible, les mobilités des ions positifs et des ions négatifs peuvent être supposées égales. Il résulte de cette égalité des densités et des vitesses que le courant négatif et le courant positif sont égaux.

La figure 1 représente la variation des grandeurs relatives de ces courants entre la lueur négative et la cathode pour

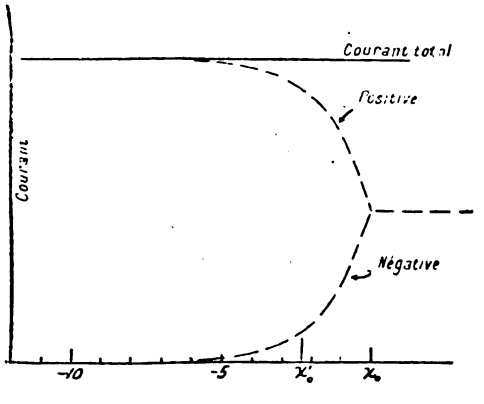


Fig. 1. — Courbes hypothétiques relatives au courant positif, au courant négatif et au courant total au voisinage de la cathode.

le cas idéal où les intervalles d'ionisation sont équidistants. Dans la lueur négative (x_0) les courbes relatives au courant positif et au courant négatif coïncident. A un intervalle d'ionisation plus près de la cathode, le courant négatif tombe à la moitié de la valeur qu'il avait en x_0 et le courant négatif s'élevant de la même quantité devient égal aux 3/4 du courant total. A deux intervalles, le courant négatif n'est plus que le $\frac{1}{8}$ du courant total tandis que le courant positif en est les $\frac{7}{8}$; et ainsi de suite jusqu'à ce que tout le courant appréciable soit transporté par les ions positifs.

Théorie simplifiée. — *Pour une cathode plane.* — Considérons une source uniforme d'ions dans un plan indéfini $x - x_0$, de telle sorte qu'entre ce plan et la limite $x = x_b$ de la zone de polarisation d'une cathode plane indéfinie, il y ait une densité de courant uniforme j d'ions positifs provenant de la source x_0. Supposons le gradient du potentiel $\frac{\partial V}{\partial x}$ nul en x_0. Et proposons-nous de calculer la différence de potentiel $V_0 - V$ entre x_0 et un plan quelconque x compris entre x_0 et x_b.

La loi relative à la densité de l'électricité pour des surfaces équipotentielles planes et parallèles donne

$$(1) \qquad \frac{\partial^2 V}{\partial^2 x} = -4\pi n e;$$

n représentant le nombre d'ions positifs par cm^3 et e la charge ionique. La loi de la mobilité des ions donne la relation entre la densité j du courant et le gradient $\frac{\partial V}{\partial x}$

$$(2) \qquad j = -neU\frac{\partial V}{\partial x},$$

où U désigne la vitesse des ions en cm : sec quand le gradient est de 1 v : cm.

L'équation (1) est écrite dans le système électrostatique. Dans le système pratique elle devient

$$(3) \qquad \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = -3{,}6 \times 10^{12}\pi n e.$$

En combinant (2) et (3), résolvant l'équation résultante par rapport à $\frac{\partial V}{\partial x}$ et introduisant la condition qu'en x_0, $\frac{\partial V}{\partial x}$ est nul, on obtient

$$(4) \qquad \frac{\partial V}{\partial x} = -\left[7{,}2 \times 10^{12}\pi \frac{j}{U}(x - x_0)\right]^{\frac{1}{2}},$$

ou, en résolvant par rapport à V

$$(5) \qquad V_0 - V = 3{,}17 \times 10^6 \left(\frac{j}{U}\right)^{\frac{1}{2}}(x - x_0)^{\frac{3}{2}}.$$

Pour une cathode cylindrique. — Pour une cathode cylindrique ayant une longueur infinie et telle que les surfaces équipotentielles sont des cylindres concentriques, l'équation (1) prend la forme

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial V}{\partial r}\right) = -4\pi n e,$$

r désignant la surface équipotentielle de potentiel V. Dans le système pratique l'équation s'écrit

$$(6) \qquad \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial V}{\partial r}\right) = -3{,}6 \times 10^{12}\pi n e.$$

Dans l'équation (2) il suffit de remplacer x par r ; à la place de la variable j il faut introduire le courant I par unité de longueur du fil.

$$I_1 = 2\pi r j,$$

Portant dans (2) nous avons comme seconde équation conditionnelle

$$(7) \qquad I_1 = -2\pi r n e U\frac{\partial V}{\partial r}.$$

(1) C.-A. Skinner, *Phys. Rev.*, 1917, 2e série, t. IX, p. 97-314 ; *Ibid.*, 1918, 2e série, t. XII, p. 136.

Digitized by Google

Combinant (6) et (7), résolvant par rapport à $\frac{\partial V}{\partial r}$ et introduisant la condition expérimentale qu'en r_0, source des ions, $\frac{\partial V}{\partial r}$ est nul, on obtient :

$$\frac{\partial V}{\partial r} = 1{,}34 \times 10^6 \left(\frac{I_1}{U} \cdot \frac{r_0^2 - r^2}{r^2}\right)^{\frac{1}{6}}. \tag{8}$$

Dans l'intervalle envisagé $\frac{\partial V}{\partial r}$ est positif et r_0 plus grand que r. D'après l'équation (8) il faut que I_1 soit négatif, le sens du flux d'électricité positive étant celui du gradient décroissant. Si l'on veut, par raison de commodité, prendre pour I_1 une quantité positive, (8) devient :

$$\frac{\partial V}{\partial r} = 1{,}34 \times 10^6 \left(\frac{I_1}{U} \frac{r_0^2 - r^2}{r^2}\right)^{\frac{1}{6}}; \tag{9}$$

résolvant par rapport à V et introduisant la condition que, pour $r = r_0$, V_1 est égal à V_0, on a :

$$V_0 - V = 1{,}34 \times 10^6 \left(\frac{I_1}{U}\right)^{\frac{1}{6}} r_0 \left[\frac{1}{2} \log_e \frac{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{r}{r_0}\right)^2}}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{r}{r_0}\right)^2}} - \sqrt{1 - \left(\frac{r}{r_0}\right)^2}\right], \tag{10}$$

ou V désigne le potentiel sur un cylindre de rayon quelconque r entre la source des ions r_0 et la région de polarisation à la surface de la cathode.

Résultats expérimentaux. — La théorie a été vérifiée expérimentalement avec des cathodes d'aluminium dans l'hydrogène. Avec une cathode plane la source effective est un peu plus rapprochée de la cathode que le point de gradient minimum dans la lumière négative. Les courbes théoriques rendent compte des observations pour des courants différents et les divers courants s'accordent pour fournir la même valeur pour la mobilité des ions positifs. Cette mobilité est cependant très grande comparée à celle que permettent de calculer les mesures faites à la pression atmosphérique ; elle est égale à $5\ 10^4$ cm sous une pression de 1 mm de mercure tandis qu'on obtient $4{,}3.10^3$ à la pression atmosphérique.

Avec des cathodes filiformes, l'accord est pratiquement parfait entre la théorie et l'observation, le point de gradient minimum étant aussi celui de la source localisée des ions. L'auteur a effectué une série d'observations sur un fil relativement gros. Les différents courants utilisés fournissent pratiquement la même valeur de la mobilité des ions positifs que celle déjà obtenue avec une cathode plane.

On pouvait prévoir un accroissement de mobilité avec les champs intenses utilisés; mais à cause de la très grande valeur calculée, environ 12 fois supérieure à celle obtenue sous la pression atmosphérique, il semble que cette valeur doive être confirmée par des observations indépendantes avant que la méthode proposée par l'auteur puisse être considérée comme propre à la détermination des mobilités. Si la valeur est correcte, il est vraisemblable qu'on a affaire à des ions atomiques plutôt qu'à des ions moléculaires. Cette suggestion a déjà été émise pour rendre compte de la vitesse observée pour l'absorption du gaz à l'anode.

La manière étroite dont la théorie simple de l'ionisation localisée rend compte des résultats obtenus à la fois avec des cathodes planes et des cathodes cylindriques constitue une preuve expérimentale sérieuse en faveur d'une ionisation très forte dans la lumière négative comparée à celle de l'espace tout voisin de la cathode. Les résultats semblent indiquer que l'ionisation existant ici est analogue à celle que provoquent les rayons α, c'est-à-dire une ionisation allant en croissant pour des vitesses décroissantes. Une telle condition rendrait la courbe hypothétique de la figure 1 relative au courant positif, plus rapidement croissante et déplacerait la source effective x'_0 vers x_0. Comme la différence de potentiel de polarisation à la cathode et l'intensité du champ dans le gaz sont environ deux fois plus grands avec le fil qu'avec la plaque, la source effective devra donc, comme on l'a observé, être plus rapprochée du point de gradient minimum dans le cas de la cathode filiforme.

L'auteur suggère également dans son travail que la zone de polarisation à la cathode est déterminée par la lueur cathodique, d'environ 0,2 mm d'épaisseur. Partant de cette hypothèse, il trouve que la différence de potentiel de polarisation est proportionnelle au gradient du potentiel par libre parcours moyen des ions positifs à leur entrée dans cette zone.

H.-A. Wilson, niant l'existence de la polarisation cathodique, conclut que le bombardement important des cathodes par les ions positifs ne suffit pas à fournir l'émission électronique nécessaire au maintien du courant [1]. Il explique l'entretien du courant par la théorie de l'ionisation au moyen des ions positifs, de Townsend. Depuis que Wilson a publié son étude, les résultats obtenus avec une cathode distincte disposée dans la lueur négative et des observations analogues par Tate et Foote [2] avec une anode distincte, semblent établir indubitablement l'existence en général d'une polarisation aux électrodes. Les recherches de Cheney [3] ont permis de conclure qu'une cathode soumise au bombardement d'ions d'une vitesse suffisante émet un courant électronique bien supérieur à celui qui semble nécessaire dans le cas présent. Dans un travail récent [4] l'auteur a fourni la preuve indirecte qu'une cathode d'aluminium dans l'hydrogène et l'oxygène émet un courant électronique appréciable lorsque la différence de potentiel de polarisation est égale ou même un peu moindre que celle obtenue avec la chute cathodique normale. En outre, bien que Townsend préfère l'hypothèse que les ions positifs produisent l'ionisation nécessaire dans le gaz, il montre qu'il est impossible de conclure de ses résultats quelle est la meilleure hypothèse, celle de l'ionisation par les ions positifs ou celle de l'émission d'électrons par la cathode. L'auteur pense qu'avec les preuves expérimentales accumulées de la polarisation aux électrodes, la dernière hypothèse est grandement fortifiée aux dépens de la première par l'existence probable d'une polarisation cathodique perturbatrice dans les expériences de Townsend.

A. B.

(1) H.-A Wilson, *Physical Review*, 1916, 2e série, t. VIII. p. 227
(2) Tate et Foote, *Wash. Acad. Sc.*, 19 sept. 1917.
(3) W.-L Cheney, *Phys. Rev.*, oct. 1917.
(4) C.-A. Skinner, *Phys. Rev.*, 1918, 2e série, t. XII, p. 136.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

Les treuils de labourage

L'auteur continue la série des articles qu'il a consacrés au labourage mécanique par une nouvelle contribution à l'étude des treuils. Il prouve d'une façon irréfutable que le treuil lourd doit céder la place au treuil léger, puisque celui-ci peut compenser l'adhérence massique qui lui fait défaut par des ancrages appropriés.

Poids lourds ou poids léger? — A ce seul titre, je vois déjà se hérisser les sourcils en bataille, — oui, malgré l'armistice — des indéfectibles champions de l'un et l'autre système, chacun s'apprêtant à l'avance à crier haro sur le baudet qui n'a pas craint d'aborder un problème dont la solution ne fait cependant aucun doute.

Mais le signataire de ces lignes n'a pas du baudet que l'ignorance, il en a aussi l'entêtement. C'est probablement pour cela que, sans souci du tolle qui l'accueillera, quelle que soit d'ailleurs sa conclusion, il n'hésite pas à donner un avis que personne n'a sollicité espérant que ses ennemis auront à cœur de défendre leurs opinions.

Malgré son ignorance, il aura ainsi contribué au progrès qui résultera de la discussion et ce sera là le baume qui pansera ses blessures d'amour-propre.

Quel est le but d'un treuil de labourage (électrique, à essence, à vapeur, etc., peu importe ici)?... C'est de permettre d'exercer une traction de valeur déterminée sur le câble qui tire la charrue, en remarquant toutefois que cette traction peut passer par des maxima allant de 45 à 75 pour 100 de la traction normale et que, d'autre part, elle n'est jamais tout à fait constante; si on établit la courbe de cet effort, on constate, en effet, que, même en dehors des maxima produits par la rencontre de la charrue avec des obstacles imprévus, cette courbe affecte une forme plus ou moins sinusoïdale, provenant en partie des oscillations ou fouettements du câble dans le plan vertical, en partie de son allongement variable avec sa longueur.

Ceci ressort très nettement du diagramme de wattmètre ci-contre (fig. 1) qui n'est que la reproduction d'un fragment de bande très aimablement communiqué par M. Fillet et que nous regrettons de ne pouvoir publier dans son entier, car l'examen en est très instructif; le treuil labourait alors à 0,30 m de profondeur sur une largeur totale de 1,50 m avec une vitesse d'avancement de 60 m par minute; la surface totale labourée pendant les quatre heures vingt que dura la séance a été de 2030 m² avec une dépense d'énergie de 121 kw-h; la durée effective de labourage, c'est-à-dire non compris temps de basculage de la charrue et d'avancement du treuil à chaque rayage, a été de trois heures quarante-six, c'est-à-dire que le temps de travail vraiment productif représentait les 87/100 de la durée totale; la consommation à l'hectare a été sensiblement de 60 kw-h, chiffre relativement très faible (1).

Cette forme très caractéristique de courbe sinusoïdale constitue un fait important qui doit retenir l'attention, car de même que l'on enfoncera plus facilement un clou dans du bois dur au moyen de nombreux petits coups de marteau, de même les multiples petits chocs produits par les variations continuelles de l'effort de traction provoqueront un glissement du treuil sur le sol que n'aurait pas amené un effort plus grand mais de valeur constante. On n'a pu jusqu'ici recueillir d'éléments suffisamment précis permettant de déterminer par quel facteur il faudrait multiplier le coefficient de glissement pour tenir compte de ce fait. Il faut cependant en retenir que, dans le calcul du poids minimum d'un treuil et de la valeur efficace d'un ancrage éventuel, il y aura lieu d'adopter un coefficient de sécurité assez élevé; si la traction demeurait constante, on resterait prudent en comptant sur un coefficient de sécurité : 2, mais étant donné ce qui précède, il faut approximativement doubler ce coefficient, donc le porter à : 4.

Etude de la résistance d'un treuil. — Comment un treuil résiste-t-il aux efforts de traction qu'il transmet au câble attaché à la charrue? Par son poids et, en outre, s'il en est muni, par son ancrage.

(1) M. Petit signalait, en effet, des consommations de 110 kw-h pour des labours de 30 cm avec sous-solage de 15 cm, dans sa communication du 28 septembre 1918 à la 5e Commission de l'Union des Syndicats.

Il y aurait, d'ailleurs, un grand intérêt à relever des diagrammes de wattmètre et de dynamomètre et à comparer les résultats obtenus avec des treuils de diverses puissances dans un même terrain. Malheureusement, ceux qui ont relevé ces courbes les gardent jalousement, en général et, d'autre part, on n'a encore organisé aucune série d'essais vraiment rationnels pour les divers appareils de labourage électrique. Il y aurait cependant de bien instructives conclusions à en tirer.

Digitized by Google

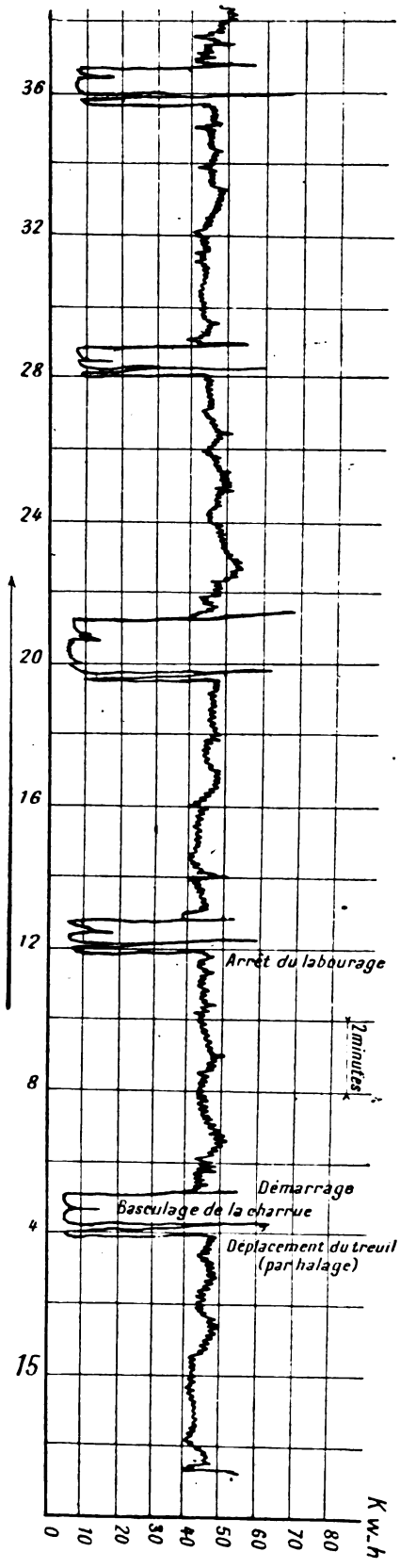


Fig. 1.

Prenons le premier cas : le treuil restera immobile si sa résistance au glissement sur le sol est plus forte que l'effort de traction qu'il exerce; or, nous savons que cette résistance est proportionnelle à la pression normale exercée sur le sol, donc au poids, et indépendante de l'étendue des surfaces de contact. Si f est le coefficient de frottement, P le poids du treuil, T la résistance au glissement, on aura

$$T = fP.$$

Or, f pour des pneus sur un sol macadamisé varie, d'après Morin, de 0,3 à 0,35; pour un traîneau tiré sur une route, il atteint d'après M. Danguy : 0,566. On peut donc l'évaluer approximativement entre 0,4 et 0,45, pour des bandages de fer sur terres fortes.

Supposons alors un treuil pesant 18 t; il résistera par son propre poids à une traction de $18000 \times 0{,}40 = 7200$ kg; avec un coefficient de sécurité 4, il pourrait être utilisé sans crainte pour donner sur le câble de la charrue $7200 : 4$, soit 1800 kg, en marche normale, ce qui conduirait à un effort maximum de $1800 \times 1{,}75 = 3150$ kg. Beaucoup de constructeurs acceptent à tort des coefficients de sécurité beaucoup moins élevés et tablent souvent, comme effort maximum de traction, sur trente pour cent du poids du treuil, ce qui correspond alors à un coefficient de : 1,33 seulement. C'est ainsi que les treuils Siemens de 13 t sont donnés pour un effort de traction de 4000 kg.

Dans la pratique, d'ailleurs, un treuil résistera même à des efforts un peu plus grands que ceux théoriquement prévus parce que ses roues s'enfonçant dans le sol, celles-ci agissent alors non seulement par leur frottement sur ce sol, mais par compression le long de leur jante. Supposons, en effet, que le treuil de 18 t que nous venons de considérer plus haut soit supporté par deux roues avant de 1300×350 mm et deux roues arrière de 2300×500 mm (type du châssis Siemens); admettons que le poids soit réparti proportionnellement à la largeur des jantes; chacune des roues arrière, par exemple, aura à supporter

$$\frac{500 \times 18\,000}{1\,600} = 5\,625 \text{ kg.}$$

et chacune des roues avant

$$\frac{350 \times 18\,000}{1\,600} = 3\,937 \text{ kg.}$$

Les terres habituelles de labour offrent une résistance à la compression qui varie de 2 kg : cm² (sable argileux, terre vierge non humide) à 3 kg : cm² (argile humide, graviers terreux); prenons le chiffre moyen de 2,5 kg : cm². Il en résultera que les roues arrière s'enfonceront dans le sol jusqu'à ce que la surface de contact atteigne $\frac{5625}{2{,}5} = 2250$ cm², c'est-à-dire sur une longueur de leur jante égale à $\frac{2250}{50} = 45$ cm. Or, re-

Digitized by Google

portons-nous à la figure 2; ce qu'il importe de connaître, c'est la surface de la portion de roue A S B M enfoncée dans le sol; or, l'angle A O B $= 2\alpha$ a pour valeur

$$2\alpha = \frac{180 \times 45}{3{,}14 \times 115} = 22^{0}12'$$

et l'on sait, d'autre part, que la surface S du secteur A S B M est donnée par la formule classique

$$S = \left(\frac{2\alpha\pi}{180} - \sin 2\alpha\right) \frac{r^2}{2},$$

en faisant

$$2\alpha = 22^{0}12', \quad \sin 2\alpha = 0{,}380 \quad r = 115,$$

on trouve :

$$S = 46 \text{ cm}^2.$$

Le même calcul pour les roues avant donnerait une

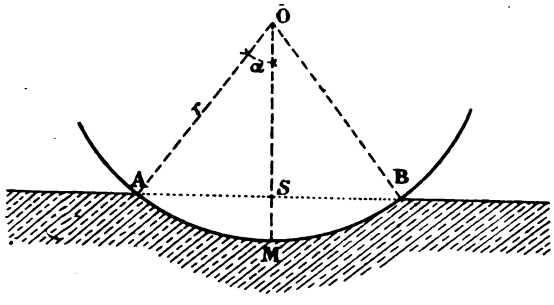


Fig. 2.

même longueur d'arc de 45 cm et une surface pour le secteur enfoncé dans le sol

$$s = 17{,}5 \text{ cm}^2.$$

L'ensemble des quatre roues du treuil représenterait donc au total une surface verticale s'appuyant contre le sol de

$$2(S + s) = 127 \text{ cm}^2.$$

Mais quand elles sont enfoncées dans le sol, les jantes des roues résistent aux efforts de traction en comprimant latéralement les terres, donc en agissant absolument comme un véritable ancrage; si on conserve le chiffre de 2,5 kg : cm² pour la résistance à la compression du sol arable moyen, on voit que, dans le cas envisagé, on obtient un supplément de résistance à la traction très appréciable et dont la valeur est de $127 \times 2{,}5 = 317$ kg, soit en chiffres ronds 10 pour 100 de la résistance de sécurité au glissement calculée plus haut.

Il faudrait cependant se garder de pousser plus loin ce raisonnement et déduire, par exemple, de ce qui précède qu'il y aurait avantage à réduire au minimum la largeur des jantes des roues des treuils, afin de les laisser s'enfoncer plus profondément; on éprouverait, en effet, des mécomptes sérieux, à un autre point de vue : les châssis s'embourberaient et, en outre, on comprimerait trop les terres, ce qui présente des inconvénients culturaux. Mais, en revanche, on a souvent profité de cette remarque pour augmenter l'adhérence en munissant les roues de joues s'enfonçant dans le sol; on a dès lors le treuil à ancrage.

Ancrages. — Un des ancrages les plus originaux est celui de M. Fillet que nous avons eu l'occasion de décrire déjà ici (1); rappelons simplement qu'il consiste essentiellement en une plaque métallique disposée verticalement sous le châssis et supportée par des crémaillères permettant de la faire enfoncer dans le sol; cette bêche, pour l'appeler par son nom, a 4 m à 4,50 m de long sur 0,25 m de hauteur.

Elle oppose à la traction latérale du câble un effort égal à sa surface multipliée par la résistance des terres à la compression, évaluée plus haut à 2,5 kg : cm², soit :

$$400 \times 25 \times 2{,}5 = 25\,000 \text{ kilogrammes.}$$

En prenant un coefficient de sécurité de 4, la bêche d'ancrage Fillet augmenterait donc l'effort de traction du treuil de ce constructeur de 6 250 kilogrammes; le treuil pesant 4 000 kg pourrait donc résister finalement à un effort de $6\,250 + \frac{0{,}4 \times 4\,000}{4} = 7\,250$ kg (avec coefficient de sécurité : 4). Dans la pratique il a effectivement permis des tractions allant jusqu'à 26 000 kg (avec un coefficient de sécurité : 1, on trouve en effet 25 000 + 1 600 = 26 600 kg).

Un autre système d'ancrage consiste à munir les roues

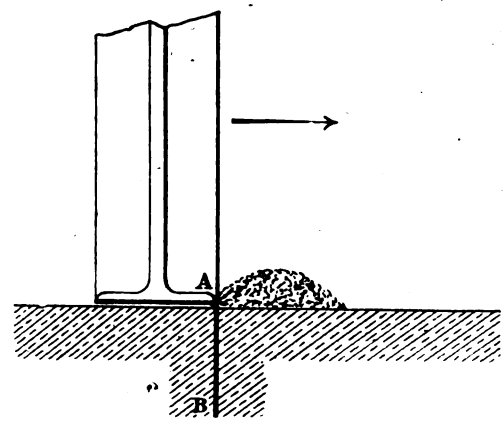


Fig. 3.

de joues qui s'enfoncent dans le sol; mais jusqu'ici on avait généralement établi ces joues à l'extérieur de la jante ce qui est un contre-sens.

(1) Voir *R. G. E.*, 5 mai 1917, t. 1, p. 695 et suivantes.

Digitized by Google

Examinons, en effet, comment se comporte une telle roue lorsque le treuil est soumis à un effort de traction voisin de l'effort limite ; sous la pression de la partie de joue A B la terre comprimée tend à céder et donne lieu à une sorte de gonflement, formant ainsi un petit monticule indiqué à droite en pointillé (fig. 3) ; le treuil ne tarde pas alors à « chasser » sur son ancrage.

Mais si l'on dispose la joue A' B' à l'intérieur de la jante (fig. 4) on voit immédiatement que le petit tumulus ci-dessus ne pourra plus se former parce que la jante même A A' de la roue, et cela d'autant mieux qu'elle

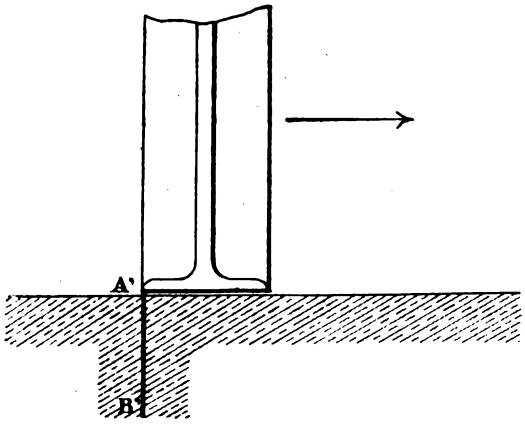


Fig. 4.

sera plus large, s'y opposera. C'est l'idée aussi simple que rationnelle que M. Estrade a appliquée dans ses treuils. Mais il est allé plus loin : dans des terrains caillouteux, il arrive que la joue d'ancrage s'enfonce difficilement sous le seul effort du poids du treuil ; M. Estrade a alors combiné un dispositif extrêmement ingénieux grâce auquel la résultante OR du poids OP et de l'effort de traction OT passe toujours en A' (fig. 5).

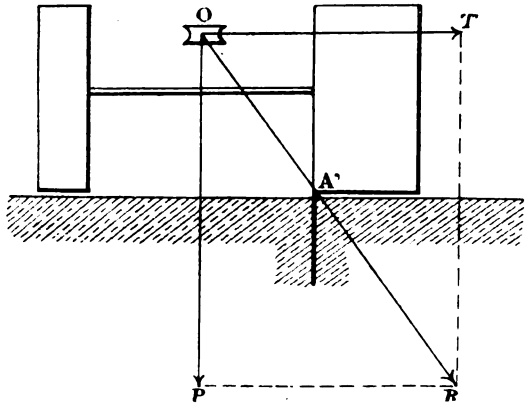


Fig. 5.

Il est arrivé ainsi à obtenir, simplement, des efforts de traction égaux au poids du treuil.

Je ne puis exposer aujourd'hui les détails du système mécanique fort curieux et très bien étudié qui a été ainsi réalisé, ni en donner la démonstration, mais j'aurai très prochainement l'occasion de le faire en décrivant le nouveau matériel de la Société d'Eleçtro-motoculture.

Conclusion. — En résumé on peut, de ce qui précède, tirer cette conclusion : que les treuils lourds qui demandent à leur seul poids d'assurer leur adhérence sont des appareils irrationnels, vraiment trop simplistes — ce qui, hélas, ne veut pas dire simples — et fatalement destinés à être rapidement détrônés.

A quoi bon, en effet, avoir des treuils de 18 à 25 tonnes, impossibles à remorquer et qui, par conséquent, doivent être automobiles — donc beaucoup plus coûteux, — alors que des treuils pesant trois et quatre fois moins permettent un effort de traction aussi grand ?

En outre ces treuils « poids lourds » qui sont d'un prix d'acquisition très supérieur à celui des treuils « poids légers » exigent pour être amortis que l'on travaille par saison une superficie beaucoup plus grande; ils doivent donc tirer des charrues à 5 ou 6 socs et être munis de moteurs puissants (100 à 150 chevaux) ; or nous savons les perturbations inadmissibles que de tels moteurs apportent sur les réseaux des petites et moyennes centrales des régions agricoles. D'autres part, on ne pourra songer à utiliser un moteur de semblable puissance pour des façons culturales secondaires qui n'absorberaient que 10 à 30 chevaux tout au plus (comme le hersage, la moisson, etc...), et cependant on ne peut non plus envisager d'avoir double matériel. Enfin, pour les distributeurs de courant, le gros treuil aura une utilisation annuelle détestable.

Au contraire, le petit treuil léger avec moteur de 20 à 50 chevaux conviendra à tous, même aux fermes de moyenne importance ; il coûtera beaucoup moins cher ; ses démarrages ne causeront pas de perturbations sérieuses sur les réseaux ; il sera plus simple parce qu'il n'aura pas besoin d'être automobile.

Je sais bien que certains trouveront que ce dernier avantage apparaît comme étant un progrès à rebours, mais il ne faut pas oublier que la motoculture, quelque développement qu'elle prenne, ne supprimera jamais les animaux de trait, notamment l'animal idéal à ce point de vue qu'est le bœuf. Or, deux ou quatre bœufs suffiront toujours pour amener, partout, un treuil de 3 à 5 tonnes.

On objectera aussi que les treuils de labourage sont soumis à des efforts très importants dont souffriront beaucoup plus rapidement les treuils légers que les treuils lourds ; je n'en suis nullement convaincu quand je vois comment des voitures extra-légères ont résisté pendant la guerre aux effroyables routes du front.

C'est uniquement une question de construction et de répartition judicieuse de la matière ; la mécanique a fait pendant ces dernières années de tels progrès que le problème ne présente aujourd'hui aucune difficulté sérieuse comme l'ont prouvé les résultats déjà acquis.

En revanche nous réaliserions une économie de matières premières, nous aurions un matériel très simple et

Digitized by Google

d'un prix abordable, qui n'effrairait plus l'agriculteur; nous répondrions aux désirs des secteurs de ne pas voir leur distribution troublée, nous pourrions faire les travaux secondaires ne nécessitant qu'une puissance relativement faible et qui, en améliorant encore une utilisation déjà meilleure, nous permettrait d'obtenir des prix plus bas de l'énergie.

Tous ces avantages en face desquels je ne vois, en toute sincérité, aucun inconvénient, aucun défaut, ne sont-ils pas suffisants pour assurer le succès du « poids léger » ? L'avenir, c'est-à-dire l'implacable loi du progrès, nous le dira.

Ach. DELAMARRE.

Considérations sur l'utilisation de la force motrice des marées

Dans cet article, l'auteur apporte d'intéressantes précisions sur quelques-uns des points de l'étude générale publiée antérieurement par M. Maynard dans ces colonnes. Ainsi qu'on le verra, il est d'ailleurs tout à fait d'accord avec ce dernier sur la nécessité et la possibilité de l'utilisation de la force motrice des marées.

Nous avons suivi avec la plus grande attention la série d'articles publiés récemment par la « R. G. E. » et consacrés par M. Maynard, ingénieur des Ponts et Chaussées, à l' « étude de l'utilisation des marées pour la production de la force motrice » (1).

Les nécessités de l'heure actuelle, en imposant la mise en œuvre de toutes les ressources nationales, ont ramené la question au premier plan. Aussi n'avons-nous pas manqué d'apprécier tout l'intérêt que présente le très important travail dont il s'agit, d'autant plus qu'ayant eu nous-même l'occasion d'étudier le problème en détail, nous n'ignorons ni les nombreux tâtonnements que nécessite la mise au point d'un cycle, ni les réelles difficultés qui doivent être dans le même but successivement surmontées.

Comme l'auteur, nous sommes convaincu qu'il est possible de tirer parti du considérable contingent d'énergie que représentent les oscillations de la mer, et nous sommes entièrement d'accord avec lui sur de de nombreux points. D'autres parties de l'étude, au contraire, nous paraissent appeler certaines observations complémentaires ; enfin, sur quelques points particuliers, la question de l'accumulation hydraulique notamment, nous croyons devoir faire d'assez sérieuses réserves.

Ce sont ces diverses considérations que, sans autre but que la seule recherche de la vérité, nous exposons ci-après.

I. — Puissance des marées. Rendement des cyles. — On sait que sur les côtes françaises de l'Océan la courbe des marées est une sinusoïde régulière et que les hauteurs d'eau au-dessus du niveau moyen de la mer s'expriment, en fonction du temps, par l'équation de forme générale :

$$y = A \cos 2\pi \frac{t}{T}.$$

(1) E. MAYNARD ; Etude sur l'utilisation des marées pour la production de la force motrice. *Revue générale de l'Electricité*, 2 novembre au 28 décembre 1918, t. IV, p. 653, 697, 749, 793, 823, 865, 903, 947, 997.

Les paramètres A et T sont donnés pour chaque marée par l' « annuaire des marées des côtes de France » dans les tableaux des « pleines mers » et « basses mers ». Il est donc facile d'établir le diagramme de la marée que l'on désire étudier.

Il importe de remarquer que les prédictions qui doivent être adoptées pour un calcul aussi précis que possible sont bien celles des tableaux des pleines et basses mers, et non les indications des tableaux des « hauteurs d'heure en heure », déterminées mécaniquement pour certains ports.

Ces derniers tableaux, en effet ne peuvent fournir que des renseignements approximatifs parce qu'il y a impossibilité, pour l'analyse harmonique, de tenir compte de quelques-unes des ondes que les phénomènes hydrauliques ajoutent aux ondes astronomiques (annuaire p. x).

On sait également que, dans la Manche, ces courbes présentent des irrégularités dues à des circonstances locales et qui se traduisent principalement par une augmentation de la durée des étales des hautes et basses mers.

Toutefois les irrégularités dont il s'agit sont, pour la partie de la côte comprise entre le Cotentin et Brest, d'une très minime importance. La courbe représentative de la marée à Saint-Malo, par exemple, abstraction faite de l'influence des vents et des variations barométriques, peut être obtenue en reliant les points maxima donnés par l'annuaire par des tronçons de sinusoïdes ; cette courbe se confond presque avec la courbe théorique qui serait la résultante de plusieurs sinusoïdes régulières de période variable ; elle doit être d'ailleurs, en tout état de cause, préférée à la courbe tracée à l'aide de la machine.

Pour calculer le travail théorique représenté par les marées de la Manche et de l'Océan, on peut donc admettre qu'elles peuvent être, toutes représentées par les courbes tracées comme il est dit ci-dessus, étant entendu que, pour les points situés à l'est du cap de la Hague, les résultats ainsi obtenus resteront un peu au-dessous de la vérité.

Dès lors, *l'énergie potentielle* de la marée s'évalue comme suit.

Digitized by Google

Considérons le diagramme d'une demi-marée (fig. 1).

Si l'on désigne par S la superficie considérée; par Δ le poids spécifique de l'eau de mer et par $2a$ l'amplitude de la marée, le travail théorique représenté par

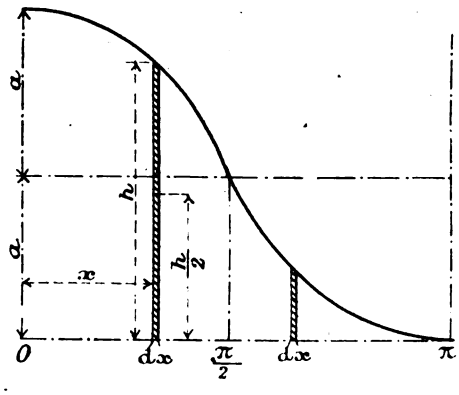


Fig. 1.

un élément dx de hauteur h et d'abscisse x a pour expression

$$S\Delta h\,dx \times \frac{h}{2} = S\Delta \frac{h^2}{2}\,dx,$$

ce qui donne pour la demi-marée

$$\int_0^{\pi} S\Delta \frac{h^2}{2}\,dx = S\Delta \int_0^{\pi} \frac{h^2}{2}\,dx. \qquad (1)$$

Remarquant que

$$h = a + a\cos x,$$

on peut écrire

$$\int_0^{\pi} \frac{h^2}{2}\,dx = \int_0^{\pi} \frac{(a + a\cos x)^2}{2}\,dx =$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{(a + a\cos x)^2}{2}\,dx + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \frac{(a + a\cos x)^2}{2}\,dx.$$

Or

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{(a+a\cos x)^2}{2}\,dx = \frac{a^2}{2}\left|x\right|_0^{\frac{\pi}{2}} + a^2\left|\sin x\right|_0^{\frac{\pi}{2}} + a^2\left|\frac{\sin 2x}{4} + \frac{x}{2}\right|_0^{\frac{\pi}{2}}$$

$$= \frac{a^2}{2}\cdot\frac{\pi}{2} + a^2 + \frac{a^2}{2}\cdot\frac{\pi}{4} = a^2\left(\frac{3\pi+8}{8}\right)$$

$$\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \frac{(a+a\cos x)^2}{2}\,dx = \frac{a^2}{2}\left|x\right|_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} + a^2\left|\sin x\right|_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} + \frac{a^2}{2}\left|\frac{\sin 2x}{4} + \frac{x}{2}\right|_{\frac{\pi}{2}}^{\pi}$$

$$= \frac{a^2}{2}\left(\pi - \frac{\pi}{2}\right) - a^2 + \frac{a^2}{2}\cdot\frac{\pi}{2}$$

$$- \frac{a^2}{2}\cdot\frac{\pi}{4} = a^2\left(\frac{3\pi - 8}{8}\right).$$

D'où

$$\int_0^{\pi} \frac{h^2}{2}\,dx = a^2\left(\frac{3\pi+8}{8} + \frac{3\pi-8}{8}\right) = \frac{6\pi}{8}\,a^2,$$

soit pour $\pi = 3{,}14$

$$2{,}355\,a^2.$$

En substituant dans l'expression (1) il vient, pour une demi-marée,

$$S\Delta . 2{,}355\,a^2,$$

soit pour une marée entière

$$\mathfrak{T} = 2\,(S\Delta . 2{,}355\,a^2) = 4{,}710\,a^2 S\Delta. \qquad (2)$$

On a donc bien ainsi, en fonction de la demi-amplitude, la valeur exacte du travail théorique d'une marée.

Remarquons que, pour retrouver la valeur conventionnelle adoptée par M. Maynard, il suffirait de *considérer comme négatifs* les moments statiques, par rapport à O π des éléments dx compris dans l'intervalle $\left(\frac{\pi}{2}, \pi\right)$ et situés entièrement au-dessous de l'axe de symétrie de la courbe, à droite de la verticale du point d'inflexion.

On aurait alors

$$\mathfrak{T}' = 2\,S\Delta . a^2\left(\frac{3\pi+8}{8} - \frac{3\pi-8}{8}\right) = 2\,S\Delta . 2a^2,$$

soit enfin

$$\mathfrak{T}' = 4\,a^2 S\Delta. \qquad (3)$$

Mais grâce aux artifices de l'aménagement, le travail *effectif* théorique, c'est-à-dire calculé sans tenir compte du coefficient de rendement des turbines, serait ordinairement supérieur à ce travail théorique conventionnel $\mathfrak{T}'$.

Du reste, en pratique, il suffit, croyons-nous, pour chaque installation projetée de considérer *en valeur absolue* la puissance correspondant à chaque cycle envisagé, la préférence étant donnée, cela va sans dire, à celui qui, toutes choses égales d'ailleurs, fournit pour cette puissance le chiffre le plus élevé.

II. Accumulation hydraulique par refoulement. — La question de l'accumulation hydraulique par refoulement se présente à la mer dans des conditions bien différentes de celles des exploitations de montagne.

Dans le domaine des marées, la hauteur de chute est toujours relativement faible; aussi l'application d'une grande puissance périodique à l'opération du refoulement ne peut-elle être obtenue qu'avec de forts débits. Or, cette puissance périodique est obligatoirement fournie par la mer dont les eaux passent dans un réservoir formant bief aval. Si importante que soit la superficie du bassin, le niveau du plan d'eau supérieur s'élèvera rapidement, proportionnellement au débit, et la hauteur de

Digitized by Google

chute disponible sera réduite dans la même proportion, si on suppose la mer étale et par conséquent le niveau amont invariable.

Si, comme presque toujours, on ne dispose pas d'un réservoir spécial, il faut, pour produire l'énergie nécessaire à l'élévation, admettre les eaux de la mer dans le bief proprement dit et l'on affecte en outre ainsi, fâcheusement, la hauteur de chute des eaux produisant la puissance régulière et constante de l'exploitation.

La quantité d'énergie intermittente à consacrer au refoulement a donc une limite bien déterminée: d'autre part il ne faut pas oublier que cette opération ne laisse pas d'entraîner d'énormes pertes de charge, fonctions inverses des rendements des pompes et des moteurs.

Il résulte de tout ce qui précède que chaque marée présente pour l'utilisation du refoulement une solution optimum qui ne peut être déterminée que par tâtonnements, le calcul n'intervenant que pour vérifier la valeur des données adoptées par hypothèse.

Certains inventeurs ont songé à appliquer le principe de l'accumulation hydraulique à la recherche de l'égalisation, au moins partielle, de toutes les marées d'un même lieu. Mais les hauteurs d'élévation envisagées relèvent, en raison des limites dont nous venons de parler, du domaine purement spéculatif. Il en est de même de la création, également préconisée dans le même but, d'immenses réservoirs à fond plus élevé que les plus hautes mers et d'un prix de revient assurément prohibitif

Le problème de la production d'une puissance égale pour toutes les marées par l'accumulation hydraulique ne nous paraît pas avoir été jusqu'ici complètement résolu et nous persistons à penser, quant à présent, que la différence de puissance entre les petites marées et les grandes ne peut être en partie corrigée que par l'adjonction à l'ensemble d'une usine thermique qui se trouvera d'ailleurs presque toujours, en raison de la présence de la mer, dans les meilleures conditions pour l'approvisionnement du combustible.

Par contre, le principe du refoulement s'impose indiscutablement pour l'augmentation, *pour chaque marée*, de la puissance *continue et constante*. Il est en effet très intéressant de pouvoir utiliser une énergie intermittente fournie par la mer dont les ressources au point de vue débit sont infinies, à la surélévation du niveau du bassin de marée, base de la production de l'énergie constante, et, dans tous les cas, réglable au gré de l'exploitant.

Il faut alors rechercher pour chaque oscillation la solution rationnelle signalée ci-dessus.

En dernière analyse, toute la question consiste à connaître, compte tenu des pertes de charge inhérentes au refoulement et de la nécessité de ne pas dépasser dans le bief un niveau convenable, quelle quantité d'énergie intermittente il faut utiliser pour obtenir une augmentation déterminée de la puissance continue.

Quel que soit le système employé, il est évident qu'on ne peut songer à refouler l'eau de la mer dans le bassin qu'au moment de la pleine mer, les hauteurs d'élévation se trouvant, pendant cette période, réduites à leur valeur minimum.

La pompe centrifuge qui convient surtout pour l'élévation, à de faibles hauteurs, de gros volumes d'eau et de liquides épais, vases, eaux chargées de sable, etc... paraît tout indiquée pour le travail dont il s'agit.

ANALYSE DU TRAVAIL DE REFOULEMENT. — Les pompes peuvent être conçues de manière à fournir un rendement moyen de 60 pour 100.

Le rendement habituel des moteurs électriques à pleine charge variant, selon la puissance, de 75 à 90 pour 100, on peut adopter dans les calculs le coefficient 0,75.

Si Q représente le volume d'eau à élever en une seconde, H la hauteur totale d'élévation, aspiration et refoulement, h_0 la perte de charge sur la conduite de refoulement, la puissance nécessaire, exprimée en chevaux, aura pour expression :

$$\mathcal{P} = \frac{1\,000}{75} Q\,(H + h_0).$$

En raison de la très faible longueur de la conduite de refoulement on peut admettre, pour simplifier, que la hauteur manométrique se confond avec la hauteur réelle d'élévation, ce qui revient à négliger h_0 et la formule devient :

$$\mathcal{P} = \frac{1\,000}{75} Q\,H.$$

Enfin, tenant compte des cœfficients de rendement des machines, on aura pour la *puissance nominale des moteurs* :

$$\mathcal{P} = \frac{1\,000\,\mathcal{P}\,H}{75 \times 0{,}60 \times 0{,}75} = \frac{1\,000}{33{,}75} Q\,H$$
$$= 29{,}63\,Q\,H = K\,Q\,H. \qquad (1)$$

Nous admettrons que le réservoir aval (la mer) est infini et que l'eau puisée n'a aucune influence sur le mouvement de son niveau supérieur.

Nous admettrons également que le réservoir amont présente une section horizontale invariable entre les niveaux naturels et artificiels considérés dans les calculs.

Première hypothèse. — Le débit élevé reste constant pendant la durée du refoulement. Les moteurs sont utilisés à pleine charge et mis en route au fur et à mesure des besoins.

Si l'on considère la boucle de sinusoïde (fig. 2) et si l'on appelle

a, l'ordonnée maximum de la courbe (demi-amplitude);

h, la hauteur de refoulement comptée au-dessus du niveau de la pleine mer et correspondant au temps t;

u, l'ordonnée correspondante de la sinusoïde ;

y, la différence entre cette ordonnée et la demi-amplitude ;

H, la hauteur totale d'élévation à l'instant considéré;

Digitized by Google

A et B, l'ordonnée et l'abcisse, par rapport à O', du point Z qui marque la fin du refoulement et le niveau surélevé du réservoir ($A = \lim.\ h$; $B = \lim.\ t$),

T_0, le temps mesuré sur l'axe de symétrie de la sinu-

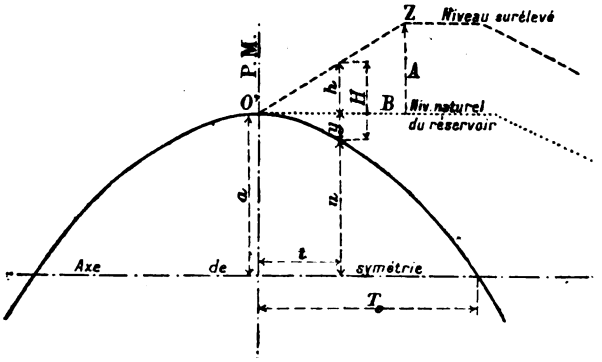


Fig. 2.

soïde entre la verticale du sommet et l'intersection de l'axe horizontale et de la courbe (quart de période); on a successivement les relations

$$H = h + y, \qquad (2)$$

$$h = \frac{A}{B}t,$$

$$y = a - u = a - a\cos\frac{\frac{\pi}{2}}{T_0}t - a\left(1 - \cos\frac{\frac{\pi}{2}}{T_0}t\right).$$

Substituant dans (2)

$$H = \frac{A}{B}t + a\left(1 - \cos\frac{\frac{\pi}{2}}{T_0}t\right),$$

et remplaçant dans (1) H par cette valeur, on a pour la puissance développée au temps t

$$\mathfrak{P}_t = KQ\left[\frac{A}{B}t + a\left(1 - \cos\frac{\frac{\pi}{2}}{T_0}t\right)\right],$$

et pour le travail effectué pendant le temps élémentaire dt qui suit l'époque t

$$\mathfrak{E}_t = KQ\left[\frac{A}{B}t + a\left(1 - \cos\frac{\frac{\pi}{2}}{T_0}t\right)\right]dt.$$

Soit enfin pour l'énergie totale *nominale* représentant le travail de refoulement

$$\mathfrak{E} = KQ\int_0^B\left[\frac{A}{B}t + a\left(1 - \cos\frac{\frac{\pi}{2}}{T_0}t\right)\right]dt,$$

l'intégration est immédiate; il vient

$$\mathfrak{E} = KQ\left|\frac{A}{B}\cdot\frac{t^2}{2} + at - a\frac{\frac{\pi}{2}}{T_0}\sin\frac{\frac{\pi}{2}}{T_0}t\right|_0^B$$

$$= QK\left(\frac{AB}{2} + aB - a\frac{\frac{\pi}{2}}{T_0}\sin\frac{\frac{\pi}{2}}{T_0}B.\right) \qquad (3)$$

Seconde hypothèse. — On applique une puissance constante au refoulement qui devra s'effectuer pendant la durée de l'étale.

Dans l'expression (2) de l'hypothèse précédente on a maintenant

$$H = h, \quad \text{puisque } y = 0.$$

Or, la hauteur h_t d'élévation au temps t a pour valeur

$$h_t = \sum_0^t h\,dt,$$

$h\,dt$ étant l'accroissement élémentaire donné par l'expression

$$h\,dt = \frac{Q\,dt}{S},$$

si $Q\,dt$ = débit élémentaire
et S = section horizontale moyenne du réservoir.

D'autre part, la puissance $\mathfrak{P}$ étant constante par hypothèse, on tire de la formule générale (1)

$$Q = \frac{\mathfrak{P}}{KH},$$

et le volume d'eau total refoulé dans le réservoir pendant la durée de l'étale serait donné par l'expression

$$T = \Sigma\, Q_t = \frac{\mathfrak{P}}{K}\int_0^B \frac{1}{h_t}\,dt. \qquad (4)$$

Mais le problème ainsi posé est absurde puisque pour $h = 0$, on a $Q = \infty$, quelle que soit la valeur de la puissance et sous la seule condition que cette puissance, prise en valeur absolue, soit différente de zéro.

Si donc on veut conserver dans les conduites une vitesse offrant toute sécurité, il faut prévoir des réglages spéciaux, d'ailleurs délicats et d'un fonctionnement aléatoire, et, par surcroît, l'hypothèse et les calculs qui ont amené cette constatation deviennent identiquement nuls.

Il faut en outre remarquer que, pendant le remplissage *naturel* du bassin de marée par les pertuis qui le font communiquer avec la mer, son niveau supérieur marque sur celui de la mer un certain retard dû aux frottements des molécules sur les parois des pertuis. Il est logique de compter sur la première moitié de l'étale pour rattra-

Digitized by Google

per cette différence de niveau et on est ainsi conduit à faire coïncider le début du travail de surélévation avec l'heure exacte de la pleine mer, ce qui nous ramène à l'hypothèse précédente.

EXEMPLE DE CYCLE A REFOULEMENT : CYCLE MAIRE. — Les avantages qui découlent de cette méthode de refoulement marée par marée ont été mis en relief par M. Maire dont M. Maynard a décrit très sommairement le brevet.

Nous ne nous étendrons pas sur le cycle imaginé par M. Maire.

L'examen des diagrammes (fig. 3 et 4) nous dispense d'ailleurs de toute description.

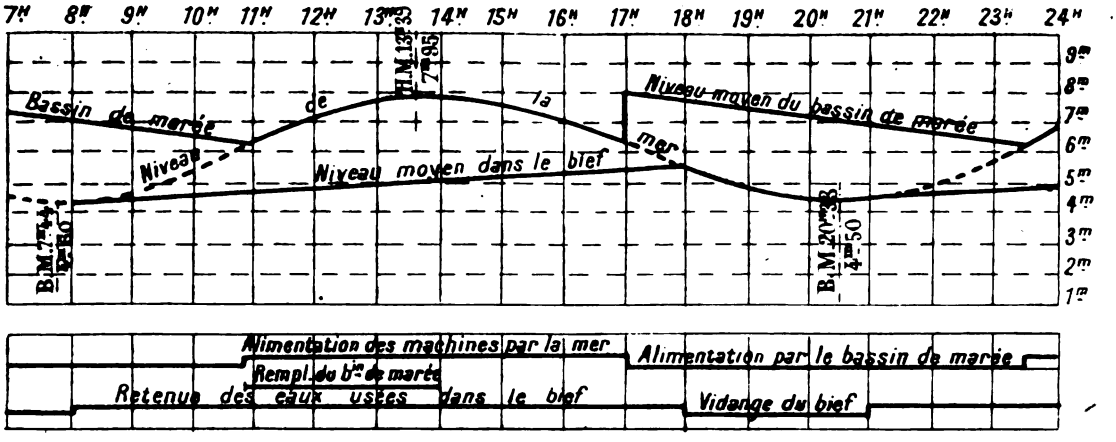


Fig. 3.

Nous nous contenterons d'indiquer que, dans un exemple pratique d'aménagement, par son procédé, d'un estuaire maritime, aménagement comportant la création d'un bassin de marée de 280 hectares et d'un bief environ 5 fois plus grand que ce bassin, l'inventeur obtenait par application du cycle (fig. 3) :

1° *Sans dragage*, c'est-à-dire en respectant les fonds actuels :

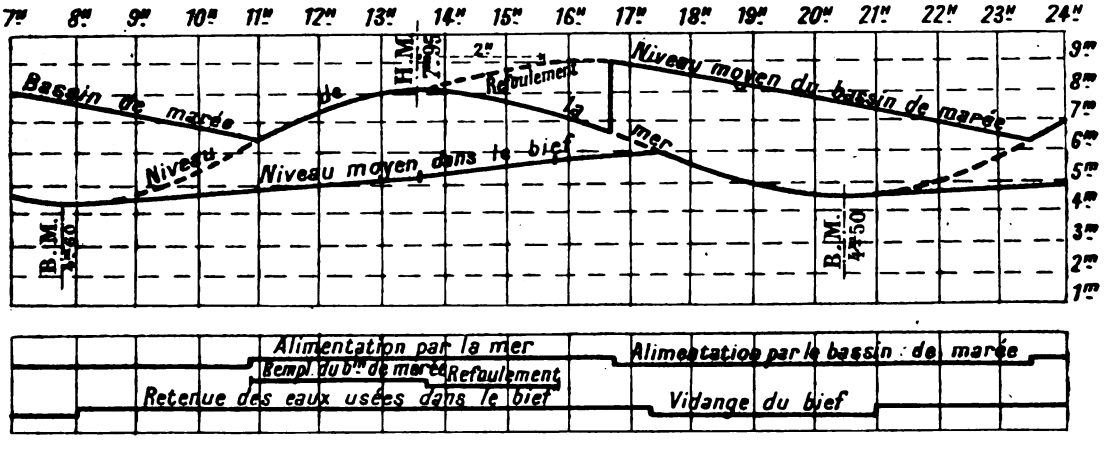


Fig. 4.

Marée de morte eau, 3810 ch; marée de vive eau, 47 700 ch (puissance nette continue et constante).

2° *Après dragage* du bassin de marée jusqu'au niveau des chambres d'eau des turbines, et dragage plus important du bief jusqu'au niveau des basses mers :

Marée de morte eau, 5 780 ch; marée de vive eau, 73 600 ch.

Par application du refoulement, cycle (fig. 1). ces puissances ont été respectivement portées à :

1° *Sans dragage* : Marée de morte eau, 6630 ch; marée de vive eau, 76600 ch ;

2° *Après dragage* : Marée de morte eau, 9720 ch; marée de vive eau, 132 500 ch. Ce qui représente une augmentation moyenne d'au moins 60 pour 100 de la puissance continue et constante fournie par le cycle sans refoulement.

Signalons à titre d'exemple que la puissance de la marée de morte eau est portée de 3810 à 6630 ch par

Digitized by Google

surélévation artificielle *d'un mètre* du plan d'eau supérieur du bassin de marée. Le refoulement exige un travail total nominal de 15 700 ch-h, fourni par la puissance intermittente.

Cette puissance intermittente, disponible au moment où la mer passe directement dans le bief par les machines, est obtenue par augmentation du débit admis aux turbines. Cette augmentation a pour effet corrélatif un accroissement plus rapide du niveau du bief, diminuant ainsi la hauteur de chute. Mais cet inconvénient se trouve largement compensé, ainsi qu'il résulte des chiffres qui précèdent.

Ajoutons que le cycle Maire d'application très simple ne nécessite qu'une usine à deux branches m et n (fig. 5) savoir :

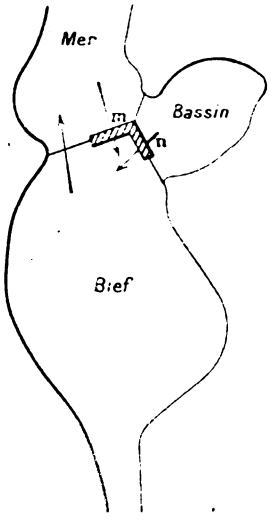


Fig. 5.

m, utilisant la chute de la mer dans le bief, produit aux heures propices l'énergie régulière de l'exploitation et assure en outre le refoulement de la mer dans le bassin.

n, utilisant la chute de l'eau du bassin dans le bief, produit l'énergie constante pendant la période où le niveau de la mer n'est pas favorable (fig. 3 et 4).

III. — **Variation de la hauteur de chute.** — La variation continuelle, pendant la durée d'une oscillation, de la hauteur de chute disponible, est la raison qui a le plus contribué, avec la variation des puissances des marées de morte eau, eau moyenne, vive eau, à faire reculer indéfiniment l'utilisation rationnelle de la force de la mer.

On peut cependant remarquer qu'en pratique, le seul résultat qui importe est que la puissance développée par une installation reste constante. Or, l'exploitant, maître de l'admission de l'eau aux machines, a toujours, à tout moment, la ressource de faire varier le débit suivant les variations de la hauteur de chute, en d'autres termes de considérer ces deux facteurs comme les coordonnées d'une hyperbole d'équation

$$Q\,H = \text{constante},$$

et d'obtenir ainsi une puissance invariable pendant la durée de la marée.

Il y a du reste, théoriquement, impossibilité absolue de maintenir rigoureusement constante une différence entre deux niveaux soumis à des lois différentes : niveau de bassin, dont la représentation graphique est une droite si le fond est régulier et le débit constant, et niveau de la mer, variable selon une loi sinusoïdale.

Toutefois, le maintien d'une dénivellation aussi invariable que possible présente une répercussion très sensible sur le coefficient de rendement des turbines, et on ne devrait pas hésiter à appliquer, même au prix d'une certaine augmentation des dépenses de premier établissement, une solution raisonnable et d'application pratique qui pourrait parfois surgir de certaines circonstances locales.

A défaut de cette solution, assez problématique pensons-nous, on ne peut compter pour atténuer dans une certaine mesure l'inconvénient qui résulte d'une chute variable, que sur les progrès réalisés en mécanique et sur une judicieuse disposition de groupes de machines s'accommodant chacun d'une hauteur de chute différente.

Certains cycles ont été présentés comme réalisant une chute constante. En réalité leur application n'entraîne qu'une régularisation *partielle*, sans doute appréciable, mais dans une mesure relative ; encore cet avantage n'est-il obtenu qu'au prix d'une grande complication de bassins cloisonnés, creusés de toutes pièces à différents niveaux rigoureusement fixés ; de plus, ces cycles comportant l'utilisation de trois courants moteurs, savoir : 1° du réservoir dans la mer ; 2° du réservoir dans le bief ; 3° de la mer dans le bief, nécessitent la construction de trois usines génératrices, le plus souvent séparées, ce qui est loin de contribuer à la simplification de l'exploitation.

Un examen spécial basé sur la disposition naturelle des lieux permettra seul de reconnaître pour chaque cas particulier si la régularisation partielle des chutes obtenue dans ces conditions n'est pas trop chèrement achetée, c'est-à-dire si les avantages qu'elle comporte compensent le prix de revient des terrassements considérables et des nombreuses digues que nécessite l'application de ces systèmes.

Remarquons enfin que, même avec l'application de ces méthodes, il est infiniment problable qu'il faudrait recourir, pour la mise en charge des turbines, en morte eau, à la chute maximum réalisable, la chute constante théorique paraissant en tous lieux insuffisante pour vaincre l'inertie des machines énormes exigées par les chutes très faibles à grand débit.

IV. — **Mouvement des Eaux. Régime d'écoulement.** — En dehors de la question, également d'ordre pratique, d'encombrement des machines motrices et par suite des longueurs des digues-usines à prévoir, aucun problème ne semble avoir aussi peu retenu l'attention des inventeurs des cycles que celui des mouvements des eaux à travers les ouvrages.

Nous ne pouvons évidemment songer à dégager ici les lois des mouvements oscillatoires dans les réservoirs puisque ces mouvements sont eux-mêmes variables selon les dispositions adoptées pour les pertuis, les conduites et les digues.

Notre but est seulement d'attirer l'attention sur ce point qu'en fait, l'étude d'une installation repose tout entière sur cette question d'écoulement. Tous les calculs des puissances s'évanouissent s'il est impossible, faute

Digitized by Google

de débouchés suffisants, de remplir ou vidanger les réservoirs dans les temps dont on dispose pour ces opérations.

D'autre part, il n'est pas douteux que les lois actuellement connues de l'hydrodynamique ne sauraient être appliquées aux installations hydro-électriques maritimes qu'avec beaucoup de circonspection. Il ne faut pas oublier que nous sommes là en présence d'étendues liquides énormes et soumises, les unes, à une vitesse propre due à la propagation des ondes de translation et variable selon la marée, les vents, les fonds et la configuration de l'estuaire ou de la baie, les autres à la vitesse normale ou modifiée d'un fleuve côtier ou d'une rivière, s'il s'agit d'un estuaire.

Pour l'étude du régime des eaux et jusqu'à ce qu'une grande installation, enfin réalisée, puisse permettre, grâce aux indications de ses appareils de mesure (et abstraction faite de l'influence des vents étudiés eux-mêmes en direction et en intensité), d'établir les lois d'écoulement des très grands réservoirs, force sera bien de s'appuyer davantage sur le raisonnement que sur le calcul.

Néanmoins, on ne saurait admettre qu'un exemple pratique d'aménagement de la mer laissât de côté la question ou même ne lui donnât pas tout le développement que mérite son importance capitale.

V. — **Ensablement. Dragages.** — Une objection, que ne manquent pas de soulever les adversaires de l'utilisation de la force motrice des marées, est l'ensablement éventuel des estuaires susceptibles d'être aménagés; cet argument prend une force particulière lorsque les installations sont projetées à proximité de ports de commerce : Saint-Malo, La Rochelle, etc., qui doivent toujours être maintenus dans des fonds suffisants.

Sans doute il n'est pas possible de prévoir à l'avance, d'une façon certaine, la répercussion d'une installation sur le régime des courants locaux, ni les modifications qui doivent en résulter pour la marche dans l'estuaire des alluvions, des sables et des galets.

On peut toutefois remarquer que, pour les côtes de France, la nature géologique du fond est le plus souvent favorable et on connaît du reste les ports ou les points des côtes qui montrent des prédispositions à l'envasement. Cette question est bien, en définitive, une question d'espèce. Elle est d'ailleurs assez intimement liée au problème de l'écoulement des eaux. En effet, les courants de flot et de jusant auxquels on attribue en majeure partie la translation des sables ne seront jamais — il s'en faut — entièrement supprimés. Au moment de la vidange du bief, par exemple, le courant amont-aval doit être sensiblement le même qu'en l'état normal et contribuer à combattre les envasements dans une large mesure. Notons que cette considération peut influer sur les dispositions à donner aux ouvrages d'évacuation et faire, par exemple, proscrire, dans certains cas, l'emploi des siphons ordinaires ou renversés.

En dehors des chasses naturelles dues aux oscillations des niveaux, on pourrait encore avoir recours, le cas échéant, au remède dont l'efficacité est aujourd'hui universellement reconnue : l'enlèvement des alluvions au moyen de puissantes dragues automobiles suceuses, capables de travailler malgré la houle.

Les prix de revient de ces dragages ne sauraient affecter sensiblement les frais d'exploitation des usines hydrauliques; on a constaté pour les dragues suceuses de Calais le prix de 0,32 fr par mètre cube, savoir 0,18 fr pour l'extraction et 0,14 fr pour transport et décharge (M. Bénézit, ingénieur des Ponts et Chaussées). (1)

Enfin nous rappellerons l'opinion de M. Lechalas, inspecteur général des Ponts et Chaussées, qui, après étude approfondie de l'ensablement, a pu écrire en citant de nombreux exemples (2) :

« Il faut remarquer que, partout où on a pu s'en rendre compte, les débits annuels de sable ou de gravier sont loin d'atteindre les chiffres qui hantaient les imaginations... »

V. — **Conclusions.** — En résumé, nous estimons :

1° que le calcul du travail théorique de la marée n'est pas indispensable à l'étude d'un projet d'aménagement;

2° que l'accumulation hydraulique par refoulement ne permet pas d'égaliser la puissance de toutes les marées d'un même lieu, mais peut, par contre, intervenir utilement pour élever, pour chaque marée, le maximum de la puissance continue et constante, la régularisation des puissances des diverses marées pouvant d'autre part être obtenue, dans la mesure indispensable, au moyen d'une usine thermique de secours;

3° que l'inconvénient qui résulte de la variation de la hauteur de chute peut être atténué par la construction de machines adéquates, leur groupement rationnel et éventuellement par des bassins naturels dont l'aménagement n'entrainerait que des dépenses raisonnables, en rapport avec les résultats escomptés;

4° que le problème de l'écoulement des eaux doit toujours être envisagé et comporter le développement que mérite son importance considérable;

5° Que l'ensablement pouvant être efficacement combattu ne saurait constituer un sérieux obstacle à l'utilisation de la force de la mer.

Quant à la question des cycles, nous pensons que le problème de l'utilisation des marées comme force motrice qui est, ce n'est pas douteux, théoriquement résolu, peut recevoir dans chaque cas une solution différente commandée par les circonstances locales et la disposition des lieux. Il est impossible de se prononcer de plano pour l'adoption d'un cycle déterminé, de préférence à tous les autres. Au contraire, pour chaque instal-

(1) Cours de Travaux maritimes, professé à l'Ecole spéciale des Travaux Publics.

(2) Note sur la canalisation des rivières à fond mobile au moyen de barrages de soutènement du lit, par M. Lechalas, inspecteur général des Ponts et Chaussées. Annexe au *Cours de Rivières canalisées* professé à l'Ecole des Ponts et Chaussées par M. de Mas, inspecteur général des Ponts et Chaussées, p. 489.

Digitized by Google

lation projetée, il y aura lieu d'étudier en détail et parallèlement, l'application des procédés préconisés par M. Maynard et celle des autres systèmes modernes dérivés du cycle Belidor-Decœur, au premier rang desquels paraît devoir se classer le cycle Maire précédemment cité.

Ces études devront faire ressortir en regard de la puissance escomptée, les dépenses d'établissement et les conditions d'exploitation particulières à chaque méthode, ainsi que la manière dont se trouve résolue la question des écoulements.

Comme nous l'avons dit en commençant, nous étions déjà fermement convaincu, et le travail de M. Maynard est venu renforcer encore cette opinion, que la période des hésitations doit faire place dès maintenant à l'heure des initiatives et des réalisations.

Il ne faut pas perdre de vue que l'utilisation des marées comporte, à côté de certains inconvénients incontestables, de réels avantages.

Il est posé en principe qu'un fait qui tend à rendre assez difficile l'exploitation des chutes d'eau ordinaires au point de vue industriel est la variation de la puissance. Or, si, dans le cas qui nous occupe, la puissance est essentiellement variable, elle est toujours prévue mathématiquement fort longtemps à l'avance.

C'est là un avantage considérable dont les industries spéciales réservées jusqu'ici aux chutes de montagne (électrométallurgie, électrochimie) pourront tirer le plus grand profit, leur souplesse leur permettant d'utiliser toute la puissance offerte, quelle que soit l'heure à laquelle elle se présente.

Sans doute, pour l'exécution des travaux on se trouve en présence de toutes les sujétions particulières aux travaux à la mer. Mais les sujétions que comportent les travaux d'aménagement de chutes de montagne (telles que l'établissement de chemins d'accès dans les passages abrupts ou à travers les éboulis de gros blocs pour l'approche à pied d'œuvre des matériaux de construction et du materiel d'exploitation) ne sont, en général, pas moins importantes.

Aussi, remarquant que l'amortissement du capital de premier établissement constitue la plus grande partie des frais d'exploitation, ne sommes-nous nullement étonné du résultat de la comparaison faite par M. Maynard avec les très hautes chutes de montagne.

Il serait superflu de reprendre ici l'énumération des applications heureuses de l'énergie hydraulique.

Nous ne rappellerons pas même l'essor qu'ont su donner certains pays à l'électrochimie, ni les usines souvent gigantesques (telle celle de Muscle-Shoals de l'Alabama Power Co : 30 000 ch hydrauliques et 30 000 ch thermiques) construites en vue de la seule fixation de l'azote de l'air. Nous voudrions seulement montrer par un exemple que, dans certaines circonstances, la mer doit obligatoirement venir au secours de la métallurgie électrique.

En mars dernier, M. Pierre Maillot, au cours d'une conférence faite au siège de l'Association interalliée d'études « Action Estudiantine » sur les différents procédés d'extraction et d'affinage des métaux déclarait :

« Dans la région de Longwy, de Briey, de Nancy, se trouvent les importants gisements que tout le monde connait, mais aucun filon de houille. Pour le traitement du fer, l'on doit faire venir le charbon et il serait intéressant d'étudier la question à fond et de voir s'il ne serait pas plus avantageux de créer dans cette région si prospère des hauts-fourneaux électriques, l'énergie venant d'usines hydro-électriques des Vosges ou du Rhône.

« *Dans le Calvados, le minerai que l'on y rencontre contient une grande partie de phosphore ; le traitement par le four électrique s'impose et il y a certainement intérêt à produire l'énergie par des moteurs à gaz* plutôt que de faire venir par voie ferrée de grandes quantités de charbon nécessaires pour la marche d'un haut fourneau. »

Il va de soi que la région minière normande ne saurait compter comme celle de Nancy sur l'énergie des grandes chutes susceptibles d'être créées dans l'Est de la France, mais il n'en est pas moins certain qu'elle dispose à proximité immédiate d'une quantité considérable d'énergie hydraulique qui peut être fournie par la mer.

Dans la Manche, l'amplitude des marées est relativement grande. Elle est minimum à Cherbourg (vives eaux 6,10 m) et augmente rapidement quand on se dirige vers l'est, pour passer par un maximum à Cayeux (9,80 m en vive eau ordinaire) et diminuer ensuite.

De plus, les marées normandes présentent, comme nous l'avons vu, cette particularité très favorable à la production de la force motrice, d'une assez longue étale de pleine mer. Il suffirait de déterminer les points de la côte les plus propices à l'établissement d'usines hydrauliques.

De toute façon, le pays ne saurait laisser plus longtemps inutilisée la force considérable dont il dispose sur ses côtes et qu'il lui est possible de recueillir, pour le grand profit de son expansion économique, en disciplinant les marées.

Nous ne saurions mieux faire, pour terminer, que joindre nos vœux à ceux de M. Maynard dont nous approuvons intégralement les conclusions. Comme lui, nous voulons espérer que, grâce à l'esprit nouveau qui anime nos sociétés financières, nos grands industriels et les pouvoirs publics, le premier pas sera demain enfin accompli.

R. Gouédard,
Ingénieur à la Compagnie générale d'Electricité (Service des Forces hydrauliques).

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Forges et ateliers de la Longueville.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 17 MARS 1919.

La signature de l'armistice a permis à la Compagnie de faire visiter les installations qu'elle possède en pays libéré. Ainsi qu'elle le prévoyait, les machines-outils installées avant la guerre pour la construction des wagons et voitures de chemins de fer et tramways ont été complètement enlevées par l'ennemi, il en est de même du matériel des forges. Par contre, toutes les constructions ont peu souffert. Des mesures ont été prises pour remettre les bâtiments en état et retrouver le matériel transporté en Allemagne. Un certain nombre de machines ont été récupérées. D'ici trois mois, les Ateliers de la Longueville seront remis en activité. Peu à peu, les machines de Levallois-Perret seront transférées à la Longueville. Ces ateliers comportaient la fabrication de boulons, rivets, etc., dont la production a augmenté durant l'exercice; un développement complet sera donné à cette division, pour cela un important lot de machines-outils seront transportées dès qu'on le pourra à la Longueville.

Les sondages effectués dans les terrains de la Compagnie au début de la guerre seront repris incessamment.

Celui d'Estienne-au-Mont a donné des résultats très satisfaisants; celui de Vellereille-lez-Brayeux a été poussé jusqu'à 1 200 m en ne recoupant qu'une veinette de charbon.

Le Conseil donne un rapport sur les sociétés dans laquelle la Compagnie des Forges possède des intérêts.

Ateliers de Constructions électriques du Nord et de l'Est. — La libération de Jeumont a permis de reconnaître que ces importants établissements avaient bien moins souffert qu'on aurait pu le craindre, en ce qui concerne les ateliers pour la construction des machines électriques, la fonderie et l'aciérie. Il n'en est pas de même de la câblerie et de la tréfilerie, où la presque totalité de l'outillage a été enlevé par l'ennemi. Les bâtiments sont cependant presque intacts. Les travaux à Jeumont pourront donc reprendre un nouvel essor, dès que le rétablissement des moyens de transport le permettra. Les ateliers que cette société possède à Saint-Ouen et à Saint-Denis, ateliers qui lui ont permis de réaliser pendant la guerre des bénéfices assez intéressants, seront spécialisés par la suite dans des fabrications appropriées à la main-d'œuvre parisienne. La Compagnie a participé au Syndicat de garantie pour porter le capital de cette société de 30 à 40 millions, s'assurant ainsi à 250 fr une notable partie des titres non souscrits par les actionnaires.

Ateliers de Constructions électriques de Charleroi. — Cette société est la plus importante de la Belgique comme construction de matériel électrique. Ses deux usines, parfaitement outillées, sont situées l'une à Charleroi-Marcinelle et l'autre à Charleroi-Villette. Ses fabrications sont analogues à celle des Ateliers de Constructions électriques de Jeumont, c'est-à-dire qu'elles comportent, outre la production des génératrices et moteurs de toutes puissances avec leurs accessoires, celle des engins de manutention, une câblerie, une fonderie de fer et de bronze et une section de matériel de signalisation de chemins de fer et mines.

Les Allemands avaient mis sous séquestre ces établissements et l'Armée y avait de vastes ateliers de réparations. Aussi les installations pour la fabrication des appareils électro-mécaniques ont-elles relativement peu souffert; mais le matériel de la câblerie, fabrique d'isolants et laminoirs à feuillards, a été complètement enlevé. Il y a tout lieu de croire qu'il pourra être récupéré assez rapidement. Les travaux ont pu reprendre partiellement depuis quelques semaines. La situation de cette société était, au moment de la guerre, très satisfaisante. Au 1er janvier 1914, l'ensemble des immobilisations évaluées à 16 millions étaient portées au bilan pour une valeur de 1 fr, les 35 hectares de terrain de ces usines y figuraient seuls pour leur prix d'achat de 935 000 fr. Durant la guerre, la Compagnie des Forges de la Longueville, a pris des intérêts dans cette société.

Il est intéressant que des rapports intimes d'intérêts existent entre les deux sociétés ci-dessus nommées et la Longueville, ces sociétés ne fabriquant que leur partie électro-mécanique, toute la partie charpente est confiée à des firmes de construction métallique, genre de travail qui entre dans les spécialités de la Longueville.

Société des Fonderies et Ateliers de Constructions de Fourchambault et de la Pique. — Jusqu'à la fin des hostilités, cette société a travaillé pour la guerre et les compagnies de chemins de fer. Elle s'adapte actuellement aux fabrications qu'imposera la reconstitution industrielle. La fonderie d'acier sera probablement en mesure de fonctionner en avril prochain. Il a été distribué pour l'exercice 1916-1917, un dividende de 32,50 fr par action.

Société espagnole de constructions électro-mécaniques. — Cette société a été constituée à Madrid le 15 juin 1917 au capital de 25 millions de pesetas dont la moitié a été émise.

Matériel roulant. — Au cours de 1918, des difficultés nombreuses ont empêché d'achever les constructions des bâtiments des ateliers. La situation paraît s'améliorer.

Société industrielle d'électricité pour la Russie. — Dans les circonstances actuelles, cette société ne peut poursuivre l'exécution de son programme.

Les bénéfices de l'exercice 1917-1918 pour l'usine de Levallois-Perret, après déduction des frais d'administration, impôts et intérêts divers, ont été de 859 454,52 fr.

Les circonstances n'ont pas permis, cette année encore, d'établir un bilan définitif.

Le solde du compte de profits et pertes est reporté à nouveau.

Digitized by Google

SITUATION ACTIVE ET PASSIVE AU 30 SEPTEMBRE 1918.

Actif.

	fr
Actionnaires	13 499 062,50
Frais de constitution et d'augmentation du capital de la Société	135 566,85
Premier établissement :	
Terrains et raccordement en pays occupé	1 046 393 »
Ateliers et divers en pays occupé	1 911 760,06
Ateliers à Levallois-Perret	771 559,58
Magasins, approvisionnements, matériel et produits fabriqués	1 496 741,82
Caisse, banques et débiteurs divers	3 658 433,48
Affaires en participation	9 073 550 »
Portefeuille-titres	6 793 678 »
Titres à libérer (compte d'ordre)	11 077 437,50
	49 464 182,79

Passif.

	fr
Capital :	
100 000 actions de 250 fr	25 000 000 »
20 000 parts bénéficiaires (pour mémoire)	
Créditeurs divers	5 601 640,70
Sommes dues sur participations	6 456 487,50
Versements restants à effectuer sur titres	11 077 437,50
Profits et pertes	1 328 617,09
	49 464 182,79

Compagnie l'Union des Gaz.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 27 JANVIER 1919.

Les bénéfices des usines s'élèvent à 3 584 951,37 fr. Dans ce chiffre, il faut compter la récupération de la perte des exercices précédents, par suite des accords passés avec certaines municipalités.

A ce chiffre s'ajoutent 163 740,80 fr de recettes diverses, changes et intérêts. Les usines d'Italie ont été exploitées pour la presque totalité de l'exercice suivant un arrangement avec le gouvernement italien, dont les comptes ne sont pas encore réglés.

L'exploitation des usines a été soumise à bien des difficultés, approvisionnements, main-d'œuvre, fournitures, entretien. Le coût de la main-d'œuvre est de plus en plus élevé.

La Compagnie a continué ses efforts pour obtenir soit à l'amiable, soit devant les tribunaux, l'augmentation du prix de vente du gaz. Parmi les arrangements nouveaux, il faut signaler celui avec la commune de Montargis, prolongé de cinq ans, jusqu'à 1940.

La Compagnie est heureuse de reprendre contact avec la Société du Gaz de Strasbourg dont elle est actionnaire, obligataire et qui devait des loyers importants ; ses intérêts ont été bien défendus par le directeur.

Les comptes de l'exercice 1917-1918, quatrième de guerre, se totalisent à l'actif par la somme de 147 654 813,72 fr et se balancent par un solde débiteur de 3 807 042,30 fr, soit 1 848 251,61 fr d'amélioration de l'exercice précédent.

BILAN AU 30 JUIN 1918.

Actif.

		fr
Etablissement :		
Total au 30 juin 1917		82 243 188,43
Nouveaux travaux de l'exercice		73 121,36
Installations et canalisations électriques revenant aux communes en fin de concession :		
Total au 30 juin 1917		578 594,17
Nouvelles installations de l'exercice		18 691,01
Appareils et installations en location :		
Total au 30 juin 1917	17 658 232,40	
Moins installations rentrées de location	66 121,68	
		17 592 110,72
Fonds de roulement des usines		20 362 388,66
Travaux en cours		730 892,19
Valeurs diverses		770 949,39
Portefeuille et participations		12 119 960 »
Espèces en caisse et dans les banques		897 557,76
Débiteurs divers		7 860 317,82
Profits et pertes :		
Solde débiteur au 30 juin 1917	5 655 293,91	
Moins solde créditeur au 30 juin 1918	1 848 251,61	
		3 807 042,30
		147 054 813,72

Passif.

	fr
Capital-actions :	
20 000 actions de 1re série à 500 fr	10 000 000 »
50 000 — de 2e série à 500 fr	25 000 000 »
Obligations :	
626 oblig. (1888) 4 1/2 %, 1re série à 485 fr.	303 610 »
245 — — — 2e — à 500 fr.	122 500 »
499 — (1892) — à 500 fr.	249 500 »
3 426 — (1896) 4 % à 500 fr.	1 713 000 »
7 976 — (1898) 3 1/2 % à 485 fr.	3 868 360 »
12 645 — (1900) 4 % à 490 fr.	6 196 050 »
19 289 — (1903) — à 490 fr.	9 451 610 »
21 877 — (1909) — à 490 fr.	10 719 730 »
11 932 — nouvelles 4 1/2 % à 500 fr.	5 966 000 »
Amortissement des installations et canalisations électriques revenant aux communes en fin de concession :	
Total au 30 juin 1917	133 142,91
Amortissement de l'exercice	47 544,53
Amortissement des appareils et installations en location :	
Total au 30 juin 1917	11 771 847,03
Amortissement de l'exercice	882 693,08
Amortissement général :	
Total au 30 juin 1917	28 256 225,86
Amortissement de l'exercice	1 780 090 »
Réserve statutaire	3 500 000 »
Réserve risques mer et incendie	1 409 268,18
Créanciers divers	25 683 642,04
	147 054 813,72

Digitized by Google

SECTION DE LÉGISLATION

Application de la loi de finances du 29 juin 1918

Enregistrement des polices d'abonnement pour la fourniture de gaz, d'électricité et d'air comprimé

La loi de finances du 29 juin 1918 établit, dans ses articles 12 et 14, un nouveau régime pour l'enregistrement des actes sous-seings privés constatant des conventions synallagmatiques. Aux termes de l'article 12 de cette loi, les actes en question doivent dorénavant être enregistrés dans les trois mois de leur date. En outre, l'article 14 décide que les actes sous-seings privés soumis à l'enregistrement dans un délai déterminé, doivent comporter un exemplaire supplémentaire destiné à rester déposé au bureau de l'Enregistrement. Toutefois, les actes de commerce visés par l'article 22 de la loi du 11 juin 1859 sont exemptés de l'obligation de l'enregistrement dans le délai de trois mois.

Étant donné ces textes, la question s'est posée de savoir s'ils devaient s'appliquer aux polices d'abonnement pour la fourniture du gaz, de l'électricité ou de l'air comprimé, ainsi qu'aux actes dits de location de branchement, colonnes montantes, compteurs, installations intérieures et appareils d'utilisation. Il semblait, en effet, à première lecture, que ce genre de contrats entrait dans les prévisions de la loi nouvelle, car il s'agissait d'actes sous-seings privés synallagmatiques, qui n'étaient pas encore soumis obligatoirement à la formalité de l'enregistrement. Ils ne peuvent échapper, par conséquent, à l'application de l'article 12 que s'ils constituent des actes de commerce visés par l'article 22 de la loi du 11 juin 1859.

Un point parut tout d'abord indéniable : c'est que les polices d'abonnement sont des actes de commerce, même si l'abonné n'est pas commerçant lui-même ; les auteurs de la jurisprudence admettent, en effet, que le caractère commercial d'un acte s'apprécie en lui-même et qu'il doit être considéré comme tel, même si ce caractère n'existe que pour l'une des parties.

Mais en ce qui concerne le point de savoir si ces actes, incontestablement commerciaux, font partie de ceux qui sont prévus par l'article 22 de la loi du 11 juin 1859 et si, par conséquent, ils échappent à l'application de la loi nouvelle, un doute pouvait subsister. La loi de 1859 prévoit, en effet, les actes de commerce rentrant dans la catégorie des marchés et traités.

Après avoir pris les vues de son Comité de Contentieux et de divers jurisconsultes, l'Union des Syndicats de l'Électricité posa directement la question à la Direction de l'Enregistrement qui lui répondit par la lettre que nous reproduisons ci-après. Ainsi qu'on le constatera, l'administration admet une distinction entre les polices d'abonnement proprement dites pour la fourniture du produit consommé et les locations d'appareils destinés à la consommation, cette opération constituant seule une véritable location, c'est-à-dire une convention synallagmatique semblable à celles qui sont prévues par la loi de 1918.

Voici la lettre du directeur général de l'Enregistrement.

Paris, le 22 février 1919.

Monsieur le Secrétaire général de l'Union des Syndicats de l'Electricité, 7, rue de Madrid.

Vous m'avez consulté sur certaines difficultés que soulève l'application des articles 12 et 14 de la loi du 29 juin 1918 en matière de polices d'abonnement souscrites auprès des entreprises de distribution de gaz, d'énergie électrique et d'air comprimé.

Il s'agit, tout d'abord, de savoir si la clause habituellement qualifiée location, qui stipule une redevance à la charge de l'abonné pour usage des appareils de distribution jusqu'au compteur inclusivement, s'analyse en une convention synallagmatique distincte, passible du droit de bail de 0,20 fr pour 100 et ne rentrant pas, dès lors, dans les prévisions de l'article 22 de la loi du 11 juin 1859. Dans l'affirmative, et par suite de l'indivisibilité de la formalité, la police tout entière se trouverait sujette à l'enregistrement obligatoire dans les trois mois de sa date, alors même qu'elle constituerait par ailleurs en ce qui concerne la fourniture du produit consommé, un acte de commerce au sens de l'article 22 précité de la loi de 1859, et pourrait être comprise à cet égard dans l'exception prévue par l'article 12 de la loi nouvelle.

Ainsi que vous en exprimez l'avis, les clauses en question n'ont pas pour objet une transmission de jouissance de la Compagnie à l'abonné, dans les termes de l'article 1709 C. Civ. C'est en réalité la Compagnie elle-même, et non l'abonné, qui se sert des appareils de distribution, et notamment du compteur, pour exécuter la fourniture. Au surplus, l'abonné n'a pas la possession effective de ces installations et appareils dont la Compagnie se réserve le maniement.

D'autre part, on ne saurait envisager séparément pour la perception les clauses qui imposent à l'abonné le paiement d'une redevance pour usage du branchement, de la colonne montante ou du compteur. Ces dispositions étant relatives à un mode nécessaire d'exécution du contrat, sans lequel la fourniture serait impossible, la redevance dont elles sti-

Digitized by Google

pulent le paiement doit être considérée comme un élément du prix du marché.

Par conséquent, à s'en tenir aux stipulations qui règlent la livraison du gaz, de l'électricité ou de l'air comprimé jusqu'au compteur inclusivement, rien ne s'oppose à ce que la police soit envisagée dans son ensemble comme un acte de commerce régi par l'article 22 de la loi du 11 juin 1859 et échappant, en conséquence, à l'application des articles 12 et 14 de la loi du 29 juin 1918

Au contraire les clauses qui mettent à la disposition de l'abonné, moyennant redevance, les appareils destinés à la consommation du produit livré, constituent de véritables locations passibles du droit de 0,20 fr pour 100, et au cas où elles seraient incorporées à une police d'abonnement rédigée à partir du 1er juillet 1918, celle-ci tomberait, de ce chef, sous l'application de la loi nouvelle.

Je crois devoir, en terminant, appeler votre attention sur le fait que parmi les formules que vous m'avez communiquées, celle du contrat pour la canalisation des voies privées proprement dites (annexe, n° 15) présente le caractère de convention synallagmatique sujette à enregistrement obligatoire en vertu de l'article 12 précité.

Les pièces que vous m'avez communiquées sont ci-jointes.

Veuillez agréer, Monsieur, l'assurance de ma considération distinguée.

Le Conseiller d'État, Directeur général,

DELIGNE.

Législation, jurisprudence, réglementation

Loi relative à la création d'un Registre du Commerce.

Le « Journal officiel » du 19 mars 1919, publie, p. 2853, la loi suivante, en date du 18 mars.

ARTICLE PREMIER. — Il sera tenu, pour le ressort de chaque tribunal de commerce ou du tribunal civil qui en tient lieu, un registre du commerce.

ART. 2. — Le greffier du tribunal est chargé de tenir ce registre, sous la surveillance du président du tribunal ou d'un juge spécialement désigné chaque année par celui-ci.

ART. 3. — Dans ce registre :

1° Sont immatriculés les commerçants français ou étrangers, ayant en France soit leur établissement principal, soit une succursale ou une agence ; les sociétés commerciales françaises, les sociétés commerciales étrangères ayant une succursale ou une agence en France ;

2° Sont portées les mentions relatives à ces commerçants ou à ces sociétés, dont l'inscription est prescrite par la présente loi.

Des commerçants français ou étrangers ayant leur établissement principal en France.

ART. 4. — Tout commerçant doit, dans le mois de l'ouverture de son fonds de commerce ou de l'acquisition par lui faite d'un fonds de commerce, requérir du greffier du tribunal dans le ressort duquel ce fonds est exploité son immatriculation dans le registre du commerce.

Le requérant remet au greffier une déclaration en double exemplaire, sur papier libre et signée de lui. Cette déclaration indique :

1° Le nom de famille et les prénoms du commerçant ;

2° Le nom sous lequel il exerce le commerce et, s'il y a lieu, son surnom ou pseudonyme ;

3° La date et le lieu de sa naissance ;

4° Sa nationalité d'origine et, au cas où il a acquis une autre nationalité, le mode et la date de l'acquisition de celle-ci ;

5° Dans le cas où il est étranger, la date du décret qui l'aurait autorisé à établir son domicile en France ;

6° S'il s'agit d'un mineur ou d'une femme mariée, l'autorisation expresse de faire le commerce qui lui a été donnée en vertu des articles 2 et 4 du code de commerce ;

7° Le régime matrimonial du commerçant dans les cas prévus par les articles 67 et 69 du code de commerce ;

8° L'objet du commerce ;

9° Les lieux où sont situées les succursales ou agences du fonds de commerce en France ou à l'étranger ;

10° L'enseigne ou la raison de commerce de l'établissement;

11° Les noms de famille, prénoms, date, lieu de naissance, ainsi que la nationalité des fondés de pouvoirs avec toutes les indications prescrites par les dispositions du 4° du présent article;

12° Les établissements de commerce que le déclarant a précédemment exploités ou ceux qu'il exploite dans le ressort d'autres tribunaux.

Le greffier copie, sur le registre du commerce, le contenu de la déclaration et remet au requérant un des deux exemplaires de celle-ci, au pied duquel il certifie avoir opéré cette copie.

ART. 5. — Doivent aussi être mentionnés dans le registre du commerce :

1° Tout changement ou modification se rapportant aux faits dont l'inscription sur le registre du commerce est prescrite par l'article précédent ;

2° Les jugements ou arrêts prononçant la séparation de corps ou le divorce du commerçant;

3° L'acte rétablissant la communauté dissoute par la séparation de corps ou de biens prévu par l'article 1451 du code civil ;

4° Le nantissement du fonds de commerce, le renouvellement et la radiation de l'inscription du privilège du créancier gagiste ;

5° Les brevets d'invention exploités et les marques de fabrique ou de commerce employées par le commerçant ;

6° Les jugements ou arrêts nommant un conseil judiciaire au commerçant inscrit ou prononçant son interdiction, ainsi que les jugements ou arrêts de mainlevée ;

7° Les jugements ou arrêts déclaratifs de faillite ou de liquidation judiciaire homologuant un concordat, en prononçant la résolution ou l'annulation, déclarant l'excusabilité, clôturant les opérations de la faillite ou de la liquidation judiciaire pour insuffisance d'actif, rapportant un jugement de clôture, les jugements ou arrêts prononçant la réhabilitation ;

8° La cession du fonds de commerce.

Les inscriptions au registre du commerce sont requises par le commerçant dans les cas visés par les 1°, 3°, 5° et 8° du présent article ; elles le sont par le greffier du tribunal ou de la cour qui a rendu les jugements ou arrêts à mentionner dans les cas visés par les 2°, 6° et 7° du présent article. Les inscriptions sont opérées d'office par le greffier quand le jugement a été rendu par le tribunal au greffe duquel est tenu le registre du commerce ou quand il s'agit des mentions à faire en vertu du 4° du présent article 5.

Des sociétés de commerce françaises.

ART. 6. — Doivent être immatriculées dans le registre du commerce du siège social les sociétés commerciales fran-

Digitized by Google

çaises en nom collectif, en commandite simple, en commandite par actions et anonymes.

L'immatriculation doit être requise dans le mois de la constitution de la société soit par les gérants, soit par les administrateurs.

Les requérants produisent au greffier du tribunal du siège social une déclaration en double exemplaire, sur papier libre, signée d'eux, en même temps qu'ils font le dépôt de l'acte de société prescrit par l'article 55 de la loi du 24 juillet 1867.

La déclaration mentionne :

1° Les noms et prénoms des associés autres que les actionnaires et commanditaires, la date et le lieu de naissance, la nationalité de chacun d'eux, avec toutes les indications prescrites par le 4° de l'article 4.

2° La raison sociale ou la dénomination de la société ;

3° L'objet de la société ;

4° Les lieux où la société a des succursales ou agences soit en France, soit en pays étranger ;

5° Les noms des associés ou des tiers autorisés à administrer, gérer et signer pour la société, des membres de conseils de surveillance des sociétés en commandite, la date et le lieu de leur naissance, ainsi que leur nationalité avec les indications prescrites par le 4° de l'article 4 ;

6° Le montant du capital social et le montant des sommes ou valeurs à fournir par les actionnaires et commanditaires ;

7° L'époque où la société a commencé et celle où elle doit finir ;

8° La nature de la société ;

9° Si elle est à capital variable, la somme au-dessous de laquelle le capital ne peut être réduit.

Art. 7. — Doivent aussi être mentionnés dans le registre du commerce :

1° Tout changement ou modification se rapportant aux faits dont l'inscription sur le registre du commerce est prescrite par l'article précédent ;

2° Les noms, prénoms date et lieu de naissance ainsi que la nationalité des gérants administrateurs ou directeurs nommés pendant la durée de la société, des membres des conseils de surveillance des sociétés en commandite, avec toutes les indications prescrites par le 4° de l'article 4 ;

3° Les brevets d'invention exploités et les marques de fabrique ou de commerce employées par la société.

L'inscription est requise par les gérants ou par les administrateurs en fonctions au moment où elle doit être faite ;

4° Les jugements et arrêts prononçant la dissolution ou la nullité de la société ;

5° Les jugements et arrêts déclarant la société en faillite ou en liquidation judiciaire ainsi que les jugements et arrêts s'y rattachant mentionnés dans le 7° de l'article 5.

Des commerçants français ou étrangers ayant leur établissement principal à l'étranger et une succursale ou une agence en France.

Art. 8. — Tout commerçant français ou étranger, ayant un établissement principal en pays étranger et une succursale ou agence en France, doit dans le mois qui suit l'ouverture de cette agence ou succursale, se faire immatriculer au greffe du tribunal dans le ressort duquel cette agence ou succursale est située. La déclaration à faire par lui doit contenir toutes les mentions indiquées dans l'article 4 avec l'indication du lieu du principal établissement.

Doivent être aussi mentionnés, sur le registre du commerce, tous les faits énumérés dans l'article 5 et les jugements ou arrêts visés par cet article quand ils ont été rendus en France ou quand ils ont été déclarés exécutoires par un tribunal français.

Des sociétés de commerce étrangères ayant une succursale ou une agence en France.

Art. 9. — Toute société commerciale étrangère qui établit une succursale ou une agence en France est soumise à l'immatriculation dans le registre du commerce.

Avant l'ouverture de cette succursale ou agence, celui qui en prend la direction doit déposer au greffe du tribunal une déclaration sur papier libre en double exemplaire, signée de lui et contenant toutes les mentions prescrites par l'article 6 de la présente loi pour les sociétés françaises. Le déclarant y ajoutera ses nom, prénoms, date et lieu de naissance, ainsi que sa nationalité avec toutes les mentions prescrites par le 4° de l'article 4.

Toutes les mentions dont l'inscription est exigée par l'article 7 de la présente loi pour les sociétés françaises, doivent être inscrites sur le registre. En cas de remplacement du directeur de la succursale, les nom, prénoms, date et lieu de naissance, nationalité du nouveau directeur, avec toutes les indications prescrites par le 4° de l'article 4 doivent être inscrits dans le registre du commerce.

Du registre central du commerce.

Art. 10. — Un registre central du commerce est tenu pour toute la France continentale à Paris, à l'office national de la propriété industrielle. Le directeur de l'office est chargé de tenir ce registre.

Les mentions à y porter sont transmises à l'office par le greffier qui a opéré l'inscription dans le mois de celle-ci.

Elles consistent seulement dans les nom, prénoms de chaque commerçant, dans le nom sous lequel il exerce le commerce et, s il y a lieu, son surnom ou pseudonyme avec indication de la date et du lieu de sa naissance, dans la raison sociale ou la dénomination de chaque société, avec une référence au registre du commerce dans lequel le commerçant ou la société a été immatriculé.

Dispositions générales.

Art. 11. — L'immatriculation est exigée dans tous les lieux où il existe des succursales ou agences. Mais il suffit que dans les registres du commerce de ces lieux, le commerçant ou la société ayant son siège social en France soit mentionné au registre du commerce sous son nom, sa raison sociale ou sa dénomination avec référence au registre du commerce de l'établissement principal ou du siège social.

Les commerçants et les sociétés étrangères ayant plusieurs succursales ou agences en France ne sont soumis aux dispositions des articles 8 et 9 que dans le lieu où est située la principale de ces succursales ou agences. Dans les lieux où se trouvent d autres succursales ou agences, il suffit que le commerçant ou la société soit mentionné au registre du commerce dans les termes indiqués dans le précédent alinéa.

Art. 12. — Toute inscription sur le registre du commerce pour laquelle un délai n'a pas été fixé par les articles précédents doit être requise dans le mois, à partir de la date de l'acte ou du fait à inscrire. Le délai court pour les jugements et arrêts du jour où ils sont rendus.

Art. 13. — Toutes les immatriculations et inscriptions au registre du commerce ont lieu après une déclaration faite dans les formes prescrites par l'article 4, deuxième et dernier alinéa.

Art. 14. — Le greffier ne peut refuser d'opérer les inscriptions requises que dans le cas où les déclarations faites par les requérants ne contiennent pas toutes les mentions prescrites par la loi.

Il signale au président ou au juge chargé de la surveillance du registre les inexactitudes qui lui paraissent avoir été commises dans les déclarations.

Art. 15. — Quand un commerçant cesse d'exercer son commerce ou vient à décéder sans qu'il y ait cession de son fonds de commerce ou quand une société est dissoute, il y a lieu à la radiation de l'immatriculation. Cette radiation est opérée d'office en vertu d'une décision du juge préposé à la surveillance du registre, si elle n'a pas été requise par le commerçant, ou par ses héritiers ou par les gérants ou administrateurs de la société en fonctions au moment de sa dissolution.

Digitized by Google

ART. 16. — Toute personne peut se faire délivrer par le greffier ou par le directeur de l'office national de la propriété industrielle une copie sur timbre de dimension des inscriptions portées sur le registre. Le greffier ou le directeur de l'office certifie, s'il y a lieu, qu'il n'existe point d'inscription.

La copie est certifiée conforme, soit par le président du tribunal ou par le juge chargé de la surveillance du registre, soit par le directeur de l'office national de la propriété industrielle.

ART. 17. — Les copies délivrées par le greffier ne doivent pas mentionner :

1° Les nantissements du fonds de commerce quand l'inscription du privilège du créancier gagiste a été rayée ou est périmée par défaut de renouvellement dans le délai de cinq ans, en vertu de l'article 28 de la loi du 17 mars 1909 ;

2° Les jugements déclaratifs de faillite ou de liquidation judiciaire quand il y a eu réhabilitation judiciaire ou légale ;

3° Les jugements d'interdiction ou de nomination d'un conseil judiciaire lorsqu'il y a eu mainlevée.

ART. 18. — Est puni d'une amende de seize francs (16 fr) à deux cents francs (200 fr) tout commerçant, tout gérant ou administrateur d'une société française, tout directeur de la succursale d'une société étrangère qui ne requiert pas dans le délai prescrit les inscriptions obligatoires.

L'amende est prononcée par le tribunal de commerce sur la réquisition du président ou du juge chargé de la surveillance du registre du commerce, l'intéressé entendu ou dûment appelé.

Le tribunal ordonne que l'inscription omise sera faite dans un délai de quinzaine. Si, dans ce délai, elle n'a pas été opérée, une nouvelle amende peut être prononcée.

Dans ce dernier cas, s'il s'agit de l'ouverture, en France, d'une succursale d'un établissement situé à l'étranger sans déclaration préalable, le tribunal peut ordonner la fermeture de cette succursale jusqu'au jour où la formalité omise aura été remplie.

Les greffiers qui ne se conformeront pas aux obligations que leur impose la présente loi seront soumis à des poursuites disciplinaires.

ART. 19. — Toute indication inexacte donnée de mauvaise foi en vue de l'immatriculation ou de l'inscription dans le registre du commerce est punie d'une amende de cent francs (100 fr) à deux mille francs (2 000 fr) et d'un emprisonnement d'un mois à six mois ou de l'une de ces deux peines seulement.

Les coupables peuvent, en outre, être privés, pendant un temps qui n'excédera pas cinq années, du droit de vote et d'éligibilité pour les tribunaux et chambres de commerce, pour les chambres des arts et manufactures et pour les conseils de prud'hommes.

Le jugement du tribunal correctionnel prononçant la condamnation ordonne que la mention inexacte sera rectifiée dans les termes qu'il détermine.

ART. 20. — L'article 463 du code pénal sera applicable aux délits prévus par l'article précédent.

ART. 21. — Les dispositions de la présente loi ne portent en rien atteinte aux dispositions des lois antérieures relatives à la publicité des faits, actes ou jugements concernant les commerçants et les sociétés de commerce ; elles demeurent en vigueur avec les sanctions y attachées.

ART. 22. — Des règlements d'administration publique détermineront les formes du registre du commerce, les émoluments dus au greffier et à l'office national de la propriété industrielle pour les inscriptions et pour la délivrance des extraits du registre et statueront sur toutes les mesures utiles à l'exécution de la présente loi.

L'émolument dû pour une immatriculation ou pour une inscription ne pourra excéder un franc.

ART. 23. — La présente loi entrera en vigueur trois mois après la publication des règlements d'administration publique prévus à l'article précédent.

ART. 24. — Des règlements d'administration publique fixeront les conditions dans lesquelles la présente loi sera applicable en Algérie et dans les colonies.

Disposition transitoire.

ART. 25. — Les dispositions précédentes s'appliquent dans le cas où les établissements principaux, succursales ou agences fonctionnaient en France antérieurement à la promulgation de la présente loi. Les commerçants, administrateurs ou gérants de sociétés et directeurs de succursales doivent s'y conformer dans un délai de six mois à partir de sa mise en vigueur.

La présente loi, délibérée et adoptée par le Sénat et par la Chambre des Députés, sera exécutée comme loi de l'Etat.

Décret créant une Commission interministérielle de contrôle des importations et exportations.

Le « Journal Officiel » du 21 mars publie, page 2919, le décret présidentiel suivant, en date du 18 mars :

ARTICLE PREMIER. — Le comité de dérogations aux prohibitions d'entrée et la commission interministérielle des métaux et des fabrications de guerre sont supprimés.

ART 2. — Il est institué auprès du ministère de la Reconstitution industrielle une commission interministérielle de contrôle des exportations et des importations ayant pour mission d'examiner les questions soulevées par l'application des décrets relatifs aux prohibitions d'exportation et d'importation, d'émettre des avis de principe au sujet des dérogations à ces prohibitions et de proposer éventuellement aux ministres intéressés les modifications qu'elle estimerait utile d'apporter au régime de ces prohibitions. Les dérogations aux prohibitions sont prononcées par le ministre des Finances.

ART. 3. — La commission interministérielle comprend :

Le directeur général des douanes, ou son délégué ;

Le directeur du mouvement général des fonds, ou son délégué ;

Un représentant du ministère de la Reconstitution industrielle (direction des matières premières) ;

Deux représentants du ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes, des Télégraphes et des Téléphones, des Transports maritimes et de la Marine marchande ;

Un représentant du service technique et un représentant de l'office national des produits chimiques et pharmaceutiques ;

Deux représentants du ministère de l'Agriculture et du Ravitaillement (un représentant de la direction du ravitaillement et un représentant de l'office des renseignements agricoles) ;

Un représentant du ministère des Affaires étrangères (direction du blocus) ;

Un représentant du ministère des Régions libérées.

Le directeur général des douanes exerce les fonctions de président et le représentant du ministère de la Reconstitution industrielle (direction des matières premières), celle de vice-président.

Un représentant du ministère de la Reconstitution industrielle remplit les fonctions de secrétaire général.

ART. 4. — La commission se réunit aux jours et lieux fixés par le président. Les délibérations de la commission font l'objet d'un procès-verbal soumis à l'approbation du ministre des Finances et du ministre de la Reconstitution industrielle ; elles ne peuvent être divulguées sans l'autorisation du Gouvernement.

ART. 5. — Le ministre des Finances, le ministre de la Reconstitution industrielle, le ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, des Transports maritimes et de la Marine marchande, le ministre de l'Agriculture et du Ravitaillement, le ministre des Affaires étrangères et le ministre des Régions libérées sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret.

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF :
Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 14. — 5 AVRIL 1919.

Chronique. — L'amélioration du facteur de puissance. — Société des Ingénieurs civils. — L'enseignement de la télégraphie sans fil à l'Ecole supérieure d'Electricité, p. 505-506.

Section scientifique et technique. — Application du diagramme des moteurs asynchrones, par L. LAGRON, p. 507. — Note sur le calcul des coefficients de la série de Fourier, par Louis PUGET, p. 511. — Revues, analyses et informations : Comment Carnot a calculé l'équivalent mécanique de la Chaleur. Un document inédit, p. 511 ; Propriétés physiques de la vapeur de pétrole, p. 513; Sur les coefficients d'aimantation des gaz paramagnétiques et la théorie du magnéton, p. 514.

Section industrielle. — Sur la mesure des débits de cours d'eau dans le Plateau central, par P. MORIN, p. 515. — Normalisation des groupes électrogènes à turbines à vapeur, p. 517. — Revues, analyses et informations : La fabrication des lampes électriques de poche en France, p. 528. — Notes pratiques : Comment on travaille l'aluminium, p. 528.

Section économique et financière. — Importations et exportations françaises, par Désiré PECTOR, p. 529. — Assemblées générales : Société des Forces motrices de la Vienne, p. 531. — Revues, analyses et informations : L'organisation du crédit à l'exportation par le Groupement économique des Industriels français de Saint-Etienne, p. 531 ; L'industrie électrique en Belgique, p. 532.

Section de législation. — Législation, jurisprudence, réglementation : Sur le projet de loi portant modification des articles 419 et 420 du Code pénal, p. 533 ; Jurisprudence, p. 534 ; Arrêté fixant les frais de contrôle des distributions d'énergie électrique, p. 535.

Errata, p. 536.

L'amélioration du facteur de puissance. — La « R. G. E. » a signalé dès ses débuts l'intérêt qu'il y a à améliorer le facteur de puissance des installations à cause des frais élevés dus à des immobilisations de câbles et de matériel que la présence d'un mauvais facteur de puissance occasionne aux centrales.

On nous a signalé, en particulier, l'installation d'une usine de la banlieue parisienne, que nous ne nommerons pas pour ne pas lui faire de la réclame, et dans laquelle le facteur de puissance n'est à certaines heures que 0,2 !

Que faire pour remédier rapidement à un pareil état de choses ? — Installer des moteurs synchrones surexcités, — ils sont difficiles à trouver, surtout si l'on veut qu'ils démarrent sous charge et qu'ils remplacent le moteur asynchrone pour la commande de certaines machines, leur fonctionnement à vide étant plutôt un luxe dont les industriels se soucient peu. Introduire des condensateurs est une solution simple mais coûteuse à cause de la valeur élevée de la capacité qui est nécessaire.

Il nous a semblé qu'il y aurait cependant une solution simple applicable à tous les moteurs asynchrones en service qui les rendrait synchrones à vide ou même à faible charge et que l'on nous permettra de signaler.

Cette méthode consiste à injecter purement et simplement du courant continu entre les bagues du rotor d'un moteur.

Nous avons fait l'expérience sur un moteur de 10 kw triphasé 50 p:sec, démarrant en étoile-triangle avec bagues et rhéostat extérieur. Le moteur ayant été mis en marche dans les conditions habituelles, nous avons introduit du courant continu dans le rotor, à l'aide d'un simple commutateur inverseur monté sur le rhéostat de démarrage, courant continu à basse tension fourni en premier lieu par une batterie d'accumulateurs de deux éléments (4 v). Le glissement a aussitôt diminué et, dès que le courant continu a atteint 6 A, l'accrochage s'est produit. En même temps la consommation de courant réactif diminuait sur le stator et, en augmentant légèrement l'intensité du courant continu, le facteur de puissance atteignait l'unité.

Pour éviter l'emploi des accumulateurs et rendre l'installation autonome, nous leur avons substitué un transformateur redresseur à vibreur et le résultat a été le même. Notons qu'avec une petite génératrice à courant continu, genre éclairage de voitures et entraînée

Digitized by Google

par le moteur asynchrone, on arrive au même résultat.

Il est donc possible, avec un matériel peu compliqué, de ne plus avoir des moteurs asynchrones travaillant à vide avec un cos φ déplorable, il suffit de les rendre synchrones automatiquement.

Ces essais étant de date relativement récente nous n'avons pu encore en tirer des chiffres, réservant la chose pour une étude plus systématique, mais nous avons tenu à signaler dès maintenant un correctif « à la portée de tout le monde ». — A. Soulier.

Société des ingénieurs civils. Séance du 28 mars 1919. — La séance fut consacrée à l'audition de deux communications.

La première fut faite par M. H. Abraham, professeur à la Sorbonne, sur : « Les lampes amplificatrices (Audions). — Récentes applications à la téléphonie aux grandes distances, à la télégraphie sans fil et à la téléphonie sans fil »

M. H. Abraham a rappelé tout d'abord l'historique de la lampe à vide à trois électrodes dont le premier modèle fut établi par l'Américain De Forest et qui a subi depuis de nombreux perfectionnements.

Le conférencier a fait ensuite la description de la lampe et a donné rapidement la théorie de son fonctionnement. Nous n'y insisterons pas, la « Revue générale de l'Electricité » devant publier très prochainement une étude très complète sur ce sujet due à M. Gutton, professeur à l'Université de Nancy, qui, pendant toute la guerre, a travaillé particulièrement cette question, comme officier attaché à la Télégraphie militaire.

Nous dirons seulement que la base de la théorie des lampes à vide à trois électrodes est l'effet Edison : Quand, dans une lampe à incandescence, dont le vide est très poussé, on place une plaque portée à un potentiel positif, le filament incandescent émet des électrons négatifs qui viennent bombarder la plaque. Si maintenant on place une troisième électrode appelée grille entre le filament et la plaque, si cette grille est portée à un potentiel négatif, elle repoussera les électrons venant du filament ou n'en laissera passer qu'un nombre plus ou moins petit suivant la valeur absolue du potentiel négatif auquel elle est portée ; tandis que si elle est portée à un potentiel positif, la grille concentrera les électrons négatifs et intensifiera dans d'énormes proportions le bombardement de la plaque par les électrons émis par le filament. On voit immédiatement, par cet exposé très succinct, l'énorme parti que l'on peut tirer de la lampe à vide à trois électrodes, suivant les points de ses caractéristiques où on la fait fonctionner.

La lampe à vide à trois électrodes peut jouer les rôles de redresseur de courant alternatif en courant continu, de détecteur d'ondes, d'amplificateur et d'oscillateur électrique pour produire des ondes entretenues

M. H. Abraham a exposé d'une façon remarquable toutes ces applications, et exécuté de nombreuses expériences jusqu'alors inconnues du grand public. Il a présenté en particulier un relai téléphonique dû à M. Marius Latour et employé par l'Administration des Postes, qui permet de téléphoner aux plus grandes distances, ce qu'on n'avait pu faire jusqu'ici. M. Abraham fit également avec le dispositif de l'amplificateur de M. Marius Latour une expérience concluante de transformation d'une conversation téléphonique ordinaire en conversation « haut parleur », entendue de toute la salle, qui prouva le pouvoir amplificateur considérable de ce relai.

Grâce à la lampe à trois électrodes, on est arrivé pendant la guerre à téléphoner sans fil à 1 000 km ; une expérience de téléphonie sans fil fut exécutée devant l'assemblée. La lampe à trois électrodes a permis de réaliser un nouveau mode de transmission de signaux : la télégraphie par le sol qui a rendu les plus grands services à notre armée, l'émission est faite à l'aide d'un appareil spécial à vibreur construit par M. Boucherot. M. H. Abraham a réalisé également des expériences sur la production des ondes entretenues à très haute fréquence et a produit devant son auditoire des oscillations à 75 000 000 p : sec correspondant à une longueur d'onde de 4 m et réalisé les expériences de Hertz en utilisant un dispositif dû à M. Gutton.

L'emploi de la lampe à trois électrodes permet aussi de supprimer les antennes actuelles de télégraphie sans fil et de les remplacer par un cadre d'environ 1 m de côté. On peut, naturellement, en mettant en contact un nombre convenable de lampes, obtenir une amplification aussi grande qu'on le désire.

M. H. Abraham a terminé sa très intéressante communication en signalant le rôle considérable que jouera la lampe trois électrodes dans les mesures électriques en particulier pour déceler des phénomènes à peine perceptibles avec les appareils actuels.

Enfin, il faut faire remarquer que la grande majorité des progrès réalisés, tant pour la lampe à trois électrodes que pour ses applications, sont dus à la Télégraphie militaire française et au général Ferrié qui l'a dirigée d'une façon si remarquable avant et pendant la guerre ; entouré de ses éminents collaborateurs, le général Ferrié a rendu des services inestimables à la France, à ses alliés et à la science. Tous nos alliés ont adopté les appareils de la Télégraphie militaire et ont acquis d'elle les connaissances techniques et pratiques nécessaires pour les utiliser avec leur rendement maximum.

Nous sommes fiers de pouvoir signaler à nos lecteurs le rôle joué pendant la guerre par la Télégraphie militaire, et qui a placé sur ce sujet notre pays à la première place parmi les nations.

La seconde communication à la Société des Ingénieurs civils fut faite par M. A. Beaurienne sur : « Les chauffages centraux de grande importance. Utilisation du chauffage comme régulateur de charge des centrales électriques ».

Le conférencier, après avoir montré que les variations dans les consommations de vapeur d'une usine sont un obstacle pour la marche économique des chaufferies, a exposé tous les services qu'on peut attendre des accumulateurs de chaleur pour obtenir la régularisation de la consommation de vapeur. Il a étudié les différents modes de transport de la chaleur : air, eau chaude, vapeur à haute et basse pression et il conclut en montrant que le transport à eau chaude est le plus souple et le plus économique.

M. Beaurienne, examinant ensuite les moyens de chauffage des locaux industriels, a montré que le chauffage par pulsation d'air chaud est le meilleur à tous points de vue. Puis il a envisagé l'application des principes qu'il avait exposés à la régularisation de la consommation de vapeur des centrales électriques par le transport et l'utilisation de la chaleur dans les villes.

Enfin il a terminé son exposé en étudiant l'utilisation de la vapeur d'une centrale thermique, marchant en parallèle avec une centrale hydraulique.

L'enseignement de la télégraphie sans fil à l'Ecole Supérieure d'Electricité. — La Section de télégraphie sans fil à l'Ecole Supérieure d'Electricité a été ouverte le 17 mars 1919 avec le concours de l'Université de Paris et de la Télégraphie militaire. Nous donnons plus loin dans le Bulletin p. 63 B les conditions d'admission des auditeurs libres et la liste des conférences qui seront faites par les plus éminents spécialistes.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Applications du diagramme des moteurs asynchrones

Comme suite à la note « Le Diagramme des moteurs asynchrones » parue dans le numéro du 7 décembre 1918, tome IV, p. 861, l'auteur nous adresse l'article ci-dessous relatif à quelques applications du diagramme dont il a décrit la construction; la simplicité et l'exactitude de la méthode qu'il a exposée permet de résoudre avec précision la plupart des problèmes concernant les moteurs asynchrones et leur démarrage en réduisant les essais à ceux à vide, en court-circuit et une mesure des résistances.

Dans le numéro du 7 décembre 1918 de la « Revue générale d'Electricité », nous avons décrit une méthode simple et assez précise de construction du diagramme des moteurs asynchrones et nous désirons exposer dans cet article quelques applications de ce diagramme.

La méthode graphique permet en effet de résoudre la plupart des problèmes concernant ces moteurs tels que : la modification du bobinage d'un moteur, le tracé des courbes de fonctionnement, le démarrage, la marche en génératrice asynchrone, l'étude des moteurs à plusieurs vitesses, celle des différents couplages en cascade, etc...

Nous nous bornerons dans cet article à parler des trois premiers problèmes, c'est-à-dire : la modification du bobinage d'un moteur, le tracé des courbes de fonctionnement et le démarrage.

Rappelons que le tracé du diagramme nécessite seulement la détermination des quantités suivantes, soit par le calcul, soit par des essais.

Le point à vide, d'où :
L'intensité à vide, I_0 ;
Les pertes à vide, W_0 ;
Le facteur de puissance à vide, $\cos \varphi_0$.

(Il est nécessaire de ne pas s'en tenir seulement au point à vide sous tension normale U_1 par phase ; il faut également déterminer ces quantités pour plusieurs tensions et tracer les courbes correspondantes.)

Le point de court-circuit, d'où :

L'intensité de court-circuit, I_{cc} ;
Les pertes en court-circuit, W_{cc} ;
Le facteur de puissance en court-circuit, $\cos \varphi_{cc}$.

La résistance par phase du stator, R_1.

La résistance par phase du rotor, R_2 (cette dernière n'est pas absolument nécessaire ; elle ne peut d'ailleurs pas être déterminée par un essai s'il s'agit d'un moteur à cage d'écureuil).

Les pertes mécaniques, W_f (si on veut être plus précis).

Modification du bobinage d'un moteur. — Un moteur doit répondre à certaines conditions de fonctionnement et doit par exemple avoir :

Un couple maximum dans un certain rapport avec le couple normal ;

Une puissance maximum dans un certain rapport avec la puissance normale ;

Dans le cas d'un moteur à cage d'écureuil, un couple de démarrage dans un certain rapport avec le couple normal ;

Un facteur de puissance ou un rendement maximum en marche normale ou à une autre puissance ;

Un certain glissement à la puissance normale.

Ce moteur doit souvent pouvoir remplir plusieurs de ces conditions à la fois et il ne devra pas trop chauffer au point de fonctionnement normal.

Par un premier calcul, on a déterminé le nombre de spires en série par phase au stator, n_1 ; on trace le diagramme comme il a été indiqué et on vérifie si les conditions imposées sont remplies ; s'il n'en est pas ainsi, on modifie n_1 dans le sens voulu et on retrace le diagramme avec cette nouvelle valeur, la section du cuivre du stator étant modifiée également en sens inverse du nombre de spires n_1.

Supposons, par exemple, que la condition imposée, consiste à obtenir une certaine puissance maximum et que la valeur trouvée, $P_M E_M$ (fig. 1), soit trop faible ; on réduira le nombre de spires, n_1, du stator, à une valeur n'_1 telle que le rapport $\frac{n'_1}{n_1}$ soit à peu près égal à la racine carrée du rapport des puissances maxima obtenue et à obtenir.

L'intensité de court-circuit aura à peu près augmenté dans le rapport $\left(\frac{n_1}{n'_1}\right)^2$. On déterminera la nouvelle intensité à vide I'_0, soit par le calcul, soit au moyen des courbes à vide s'il s'agit d'un moteur déjà construit et à modifier, et on construira le nouveau diagramme avec les nouvelles valeurs (tracé en pointillé sur la figure 1). On vérifiera non seulement si on a obtenu la puissance maximum désirée $P'_M E'_M$, mais également si le rendement et le facteur de puissance sont acceptables en marche normale.

On déterminera enfin les nouvelles pertes à vide qui

Digitized by Google

ont augmenté, et les nouvelles pertes par effet Joule à pleine charge, qui ont diminué, pour vérifier si l'échauffement est normal, c'est-à-dire si les pertes totales en fonctionnement normal ne dépassent pas la puissance maximum que la carcasse employée peut dissiper avec les moyens de refroidissement adoptés.

Le diagramme est très utile si on veut déterminer une série de moteurs normaux sans effectuer des essais complets à différentes charges et à couple constant; il s'agit dans ce cas de trouver la puissance normale de chaque carcasse, compatible avec les conditions de fonctionnement à remplir : échauffement, rendement, facteur de puissance, etc.

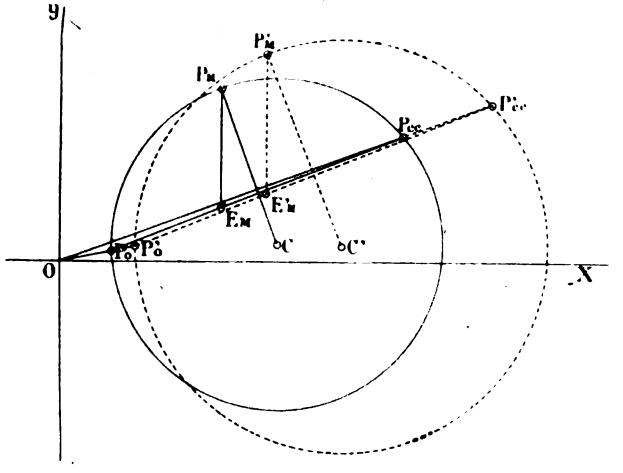


Fig. 1.

Après un premier calcul, on construira et on bobinera un moteur de chaque type, puis on effectuera les essais à vide et en court-circuit ainsi que la mesure des résistances ; après quelques tâtonnements, en construisant différents diagrammes de chaque moteur, correspondant chacun à quelques tensions d'alimentation, on trouvera facilement la puissance normale à adopter pour chaque type ainsi que la tension correspondant au bobinage effectué, et on vérifiera, soit directement par un essai en charge à cette puissance, soit en déterminant les pertes à cette charge, que l'échauffement est normal ; on vérifiera également si la puissance et le couple maximum, ainsi que le couple de démarrage dans le cas de moteurs à cage d'écureuil, sont acceptables.

On pourra, par exemple, chercher le diagramme, c'est-à-dire la puissance normale et la tension correspondant à un facteur de puissance maximum ; le rendement aura en général atteint son maximum à une puissance un peu inférieure à la normale, car le facteur de puissance à vide cos φ_0 est la plupart du temps inférieur à celui du court-circuit cos φ_{cc}.

Courbes de fonctionnement. — Quoique le diagramme donne directement au moyen de trois échelles le rendement, le facteur de puissance et le glissement depuis la marche à vide jusqu'au point de court-circuit, il est souvent utile de déterminer ces valeurs avec plus de précision pour tracer les courbes de fonctionnement exactes.

Proposons-nous de calculer exactement ces valeurs en nous servant du diagramme, pour une puissance utile W_1.

Soit : U_1 la tension d'alimentation par phase ;

m_1, le nombre de phases du stator.

L'intensité utile en phase est $I_{1w} = \dfrac{W_1}{m_1 U_1}$ que nous portons suivant la verticale PE entre le cercle et la ligne des puissances utiles P_0 P_{cc} (fig. 2), P_A étant le

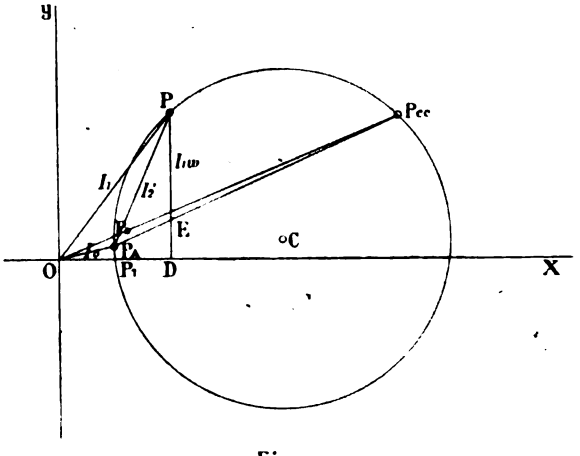


Fig. 2.

point de synchronisme, PP_A est l'intensité I'_2 du rotor ramenée au stator et OP l'intensité dans le stator I_1.

Si m_2 est le nombre de phases du rotor, f_1 et f_2 les facteurs de bobinage du stator et du rotor, l'intensité dans le rotor sera

$$I_2 = I'_2 \frac{m_1 f_1 n_1}{m_2 f_2 n_2},$$

d'où les pertes cuivre dans le rotor

$$W_{c_2} = m_2 R_2 I_2^2.$$

Les pertes cuivre dans le stator sont

$$W_{c_1} = m_1 R_1 I_1^2.$$

On connaît les pertes dans le fer W_f (correspondant à l'intensité en phase $P_A A_1$ d'où le rendement à la charge W_1 :

$$\eta = \frac{W_1}{W_1 + W_f + W_{c_1} + W_{c_2}}.$$

Pour déterminer le facteur de puissance, nous cherchons à l'aide du diagramme les puissances actives et réactives absorbées.

La puissance active est déjà donnée par

$$A = W_1 + W_f + W_{c_1} + W_{c_2}.$$

Digitized by Google

La puissance réactive comprend celle à vide correspondant à l'intensité OP_1 ou $m_1 U_1 I_0 \sin \varphi_0$ et celle correspondant à l'intensité $P_1 D$ que l'on peut mesurer directement sur le diagramme avec assez de précision, d'où $m_1 U_1 \overline{P_1 D}$; on obtient ainsi la puissance réactive

$$B = m_1 U_1 (I_0 \sin \varphi_0 + \overline{P_1 D}).$$

Le facteur de puissance est donné par sa tangente

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{B}{A},$$

ou directement par

$$\cos \varphi = \frac{A}{\sqrt{A_2 + B_2}}.$$

Connaissant les pertes dans le rotor, il est facile d'obtenir le glissement. Enfin le diagramme donne directement les intensités primaires, les couples et en répétant ces calculs et mesures pour différentes puissances, il est facile de tracer les courbes de fonctionnement en fonction des puissances utiles.

Démarrage. — Le diagramme, très utile pour se rendre compte du démarrage d'un moteur à cage d'écureuil, soit directement, soit par couplage étoile-triangle, soit au moyen d'un auto-transformateur ou par tout autre moyen, est surtout précieux pour l'étude du démarrage d'un moteur à bagues et la détermination du rhéostat à insérer dans l'enroulement du rotor.

Supposons tout d'abord, pour simplifier, que le couple résistant est constant depuis la vitesse nulle jusqu'à la normale et que l'on veuille établir un rhéostat tel que

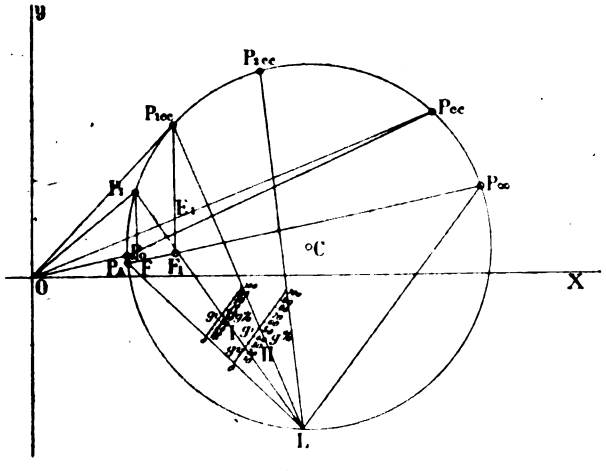


Fig. 3.

l'intensité soit la même au début de chaque démarrage partiel.

On sait que l'insertion d'une résistance dans le rotor a pour effet de ramener le point de court-circuit en une position P_{1cc} (figure 3) telle que $O P_{1cc}$ est l'intensité absorbée au début du démarrage ; le moteur prendra peu à peu de la vitesse et l'intensité diminuera jusqu'en P_1 où le couple $P_1 F$ est égal au couple résistant. En construisant l'échelle des glissements I en prenant P_{1cc} comme point de court-ciruit, en obtiendra en joignant $P_1 L$, le glissement g_1 à la fin du premier démarrage partiel.

Pour le deuxième démarrage partiel, on reporte le glissement g_1 sur $P_{1cc} L$ et on construit une deuxième échelle des glissements II déterminant ainsi le deuxième point de court-circuit P_{2cc} ; sa rencontre avec $P_1 L$ donne le glissement g_2 à la fin du deuxième démarrage partiel.

On continue ainsi de suite jusqu'au point de court-circuit sans résistance P_{cc}.

La marche du démarrage étant déterminée, le diagramme permet enfin de trouver la valeur des résistances à insérer dans le rotor.

La puissance absorbée par le rhéostat au début du démarrage est en effet par phase : $U_1 I_d$, I_d étant l'intensité en phase $P_{1cc} E_1$; si R'_d est la résistance totale du rhéostat par phase ramenée au stator on a

$$R'_d \overline{I_d}^2 = U_1 I_d \qquad \text{d'où} \qquad R'_d = \frac{U_1}{I_d},$$

et la résistance totale du rhéostat par phase.

$$R_d = R'_d \frac{m_2 f_2^2 n_2^2}{m_1 f_1^2 n_1^2}.$$

Au début du deuxième démarrage partiel, le glissement est g_1 et la résistance insérée $R'_d - r'_1$ (r'_1, r'_2, r'_3... étant les résistances partielles ramenées au stator).

On a

$$(R'_d - r'_1) \overline{I_d}^2 = U_1 I_d g_1,$$

d'où

$$R'_d - r'_1 = \frac{U_1}{I_d} g_1,$$

ou

$$R'_d - r'_1 = R'_d g_1,$$

ou en passant aux valeurs réelles du rotor :

$$R_d - r_1 = R_d g_1,$$

d'où enfin :

$$r_1 = R_d (1 - g_1).$$

De même :

$$r_2 = R_d (1 - g_2),$$

$$r_3 = R_d (1 - g_3),$$

. .
. .
. .
. .
. .

Par cette méthode, il est facile d'étudier un démar-

Digitized by Google

rage avec n'importe quelle loi du couple résistant.

Supposons en effet que nous ayons traduit cette loi sous forme d'une courbe donnant les différentes valeurs du couple résistant en fonction de la vitesse de o à la normale. Sur le diagramme les couples sont représentés par les intensités en phase comprises entre le cercle et la ligne des couples $P_A P_\infty$ telle que $P_1 F$ et on peut tracer la courbe des couples résistants en prenant ces intensités comme grandeurs des couples (si par exemple on possède une courbe en Joule-couples, il est facile de passer de cette unité à la puissance synchrone W_a, puis aux intensités $I_c = P_1 F$ par la formule $I_c = \frac{W_a}{m_1 U_1}$). On obtient ainsi la courbe I sur la figure 4.

A chaque valeur des intensités, couples I_c, correspond sur le diagramme, soit une valeur I'_2 du courant du rotor ramené au stator d'où la courbe II, soit une valeur I_1 du courant dans le stator d'où la courbe III et on pourra raisonner sur l'une ou l'autre de ces deux dernières courbes.

Adoptons par exemple la courbe III des courants dans le stator.

On tracera approximativement une courbe des maxima à adopter au début de chaque démarrage partiel (en pointillé sur la figure 4).

L'intensité maximum I_1 au début du démarrage (glissement de 100 pour 100) déterminera le premier point de court-circuit P_1 ; la rencontre de la courbe des couples moteurs donnée par le diagramme avec la courbe III indiquera l'intensité I'_1 et le glissement g_1 à la fin du premier démarrage partiel d'où le courant maximum I''_1 sur la courbe en pointillé à adopter au début du deuxième démarrage partiel, courant que l'on reportera sur le diagramme ; on cherchera comme il a été dit plus haut le deuxième point de court-circuit tel qu'à ce deuxième courant maximum corresponde un glissement

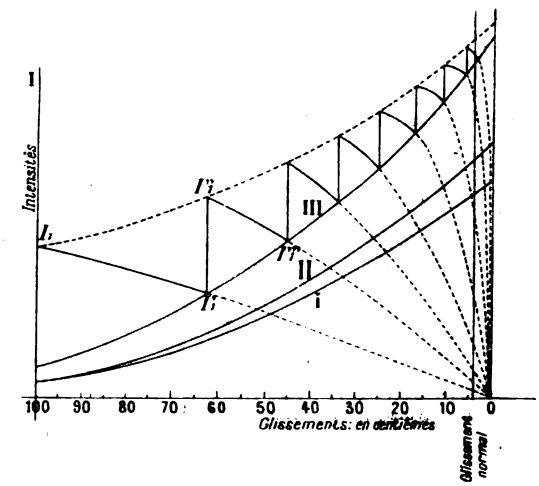


Fig. 4.

g_1 et on obtiendra de même pour la rencontre de la courbe des couples passant par I''_1 avec la courbe III, l'intensité I'''_1 et le glissement g_2 à la fin du deuxième démarrage partiel, et ainsi de suite jusqu'à la marche normale.

L. LAGRON,
Ingénieur à Lyon.

Note sur le calcul des coefficients de la série de Fourier

Dans une note précédente, l'auteur indiquait un procédé de calcul approché des coefficients de la série de Fourier relatifs au développement d'une fonction périodique. Dans la courte note ci-dessous, l'auteur indique un procédé de calcul rigoureux de ces mêmes coefficients, dans l'hypothèse où l'ordre et le nombre des harmoniques sont connus, procédé d'ailleurs très rapide.

Nous nous plaçons dans un cas simple, celui où l'ordre et le nombre des harmoniques relatifs au développement d'une série de Fourier sont connus, nous nous proposons de calculer les coefficients en partant du tracé de la courbe représentative. Nous nous bornerons, à titre d'exemple, au cas d'une fonction périodique dont le développement ne renferme que les harmoniques 3 et 5.

Soit donc :

$$y = A_1 \sin 2\pi \frac{t}{T} + B_1 \cos 2\pi \frac{t}{T} + A_3 \sin 3 . 2\pi \frac{t}{T} + B_3 \cos 3 . 2\pi \frac{t}{T} + A_5 \sin 5 . 2\pi \frac{t}{T} + B_5 \cos 5 . 2\pi \frac{t}{T},$$

le développement de cette fonction ; soient $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$, les valeurs de cette fonction aux points correspondant aux instants o, $\frac{T}{4}$, $\frac{T}{6}$, $2\frac{T}{6}$, $\frac{T}{10}$ et $2\frac{T}{10}$; le tableau ci-dessous donne les valeurs correspondantes des sinus et cosinus entrant dans le développement.

Nous avons les relations :

$$B_1 + B_3 + B_5 = C_1,$$
$$A_1 - A_3 + A_5 = C_2,$$
$$0{,}86\, A_1 + 0{,}5\, B_1 - B_3 - 0{,}86\, A_5 + 0{,}5\, B_5 = C_3,$$
$$0{,}86\, A_1 - 0{,}5\, B_1 + B_3 - 0{,}86\, A_5 - 0{,}5\, B_5 = C_5,$$
$$0{,}59\, A_1 + 0{,}81\, B_1 + 0{,}95\, A_3 - 0{,}31\, B_3 - B_5 = C_6,$$
$$0{,}59\, A_1 - 0{,}81\, B_1 + 0{,}95\, A_3 + 0{,}31\, B_3 + B_5 = C_6.$$

Digitized by Google

Tableau I.

t	$\sin 2\pi \frac{t}{T}$	$\cos 2\pi \frac{t}{T}$	$\sin 3.2\pi \frac{t}{T}$	$\cos 3.2\pi \frac{t}{T}$	$\sin 5.2\pi \frac{t}{T}$	$\cos 5.2\pi \frac{t}{T}$
0	0	1	0	1	0	1
$\frac{T}{4}$	1	0	—1	0	1	0
$\frac{T}{6}$	0,86	0,5	0	— 1	— 0,86	0,5
$2\frac{T}{6}$	0,86	—0,5	0	1	—0,86	—0,5
$\frac{T}{10}$	0,59	0,81	0,95	— 0,31	0	—1
$2\frac{T}{10}$	0,59	—0,81	0,95	0,31	0	1

Ces 6 relations nous donneront les valeurs des coefficients A_n, B_n en fonction des cotes C_1, C_2... C_6; ces valeurs sont les suivantes :

$$\begin{cases} A_1 = 0{,}38\,C_2 + 0{,}232\,(C_3 + C_4) + 0{,}20\,(C_5 + C_6), \\ A_3 = -0{,}24\,C_2 - 0{,}117\,(C_3 + C_4) + 0{,}40\,(C_5 + C_6), \\ A_5 = 0{,}38\,C_2 - 0{,}38\,(C_3 + C_4) + 0{,}2\,(C_5 + C_6), \\ B_1 = 0{,}426\,C_1 + 0{,}126\,(C_3 - C_4) + 0{,}276\,(C_5 - C_6), \\ B_3 = \frac{1}{3}\,(C_1 + C_4 - C_3), \\ B_5 = 0{,}242\,C_1 + 0{,}206\,(C_3 - C_4) - 0{,}276\,(C_5 - C_6). \end{cases}$$

Pratiquement, la courbe étant dessinée et réduite à une échelle convenable, il suffira d'appliquer sur les axes oT, oy un transparent portant des échelles parallèles passant par les points de division 1, 2,... 6, nous disposerons d'un transparent par coefficient A_n ou B_n (fig. 1).

Si les échelles 1, 2,... 6 des transparents sont graduées convenablement, il suffira de lire les cotes des

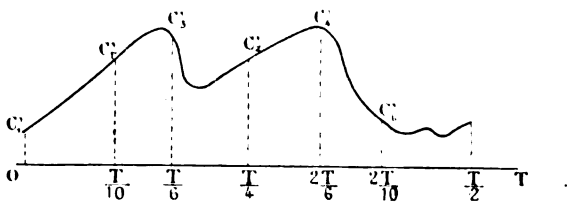


Fig. 1.

ordonnées et de les additionner algébriquement pour avoir le coefficient cherché.

Par exemple, pour le coefficient A_1, les cotes lues sur les échelles seront :

$$C'_2 = 0{,}38\,C_2,$$

$$C'_3 = 0{,}232\,C_3, \qquad C'_4 = 0{,}232\,C_4,$$

$$C'_5 = 0{,}2\,C_5 \qquad C'_6 = 0{,}2\,C_6,$$

et

$$A_1 = C'_2 + C'_3 + C'_4 + C'_5 + C'_6.$$

Si l'on suppose ce travail (calcul des coefficients et tracé des échelles transparentes) fait une fois pour toutes et pour un plus grand nombre d'harmoniques (on pourrait par exemple aller jusqu'à l'ordre 13), on aura un moyen pratique et très rapide de calcul des coefficients de Fourier.

Les formules données pour les coefficients A_1, A_3, A_5, B_1, B_3, B_5 ont été vérifiées avec soin et soumises à l'épreuve de la pratique, elles nous ont donné des résultats satisfaisants.

Louis Puget,
Ingénieur des Télégraphes.

Revues, analyses et informations

Comment Carnot a calculé l'équivalent mécanique de la chaleur. Un document inédit.

Dans le numéro de la « R. G. E. » du 29 mars, p. 465, nous signalions que C. Raveau avait, dans une note récente à l'Académie des Sciences, montré comment d'après des documents inédits, était parvenu à calculer l'équivalent mécanique de la chaleur. Nous donnons ci-dessous la reproduction de cette note (1).

I. — Autorisé, par la très grande bienveillance de M. le Secrétaire perpétuel M. E. Picard, à prendre connaissance, en vue d'une réimpression, des manuscrits confiés à l'Académie par Hippolyte Carnot et M. Adolphe Carnot, j'ai été assez heureux pour trouver, dans les quelques passages restés inédits, un texte qui nous renseigne définitivement sur la façon dont Sadi Carnot a calculé l'équivalent mécanique de la chaleur.

« S'il est reconnu que les gaz ne changent pas de température lorsqu'ils se dilatent sans produire de puissance motrice, lorsque par exemple, soumis à une pression constante, ils s'échappent par une petite ouverture dans une autre capacité où ils sont soumis à une pression moindre mais également constante, il s'ensuivrait :

1° Que la consommation de puissance motrice produit du calorique ;

2° Que la quantité produite est précisément celle dégagée par le gaz lors de sa réduction de volume.

» En effet, si l'on comprime un gaz, à moitié par exemple,

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 17 mars 1919, t. CLXVIII, p. 549-552.

Digitized by Google

en maintenant sa température à un degré constant, puis qu'on le laisse échapper par une petite ouverture pour pénétrer dans un vase où la pression soit maintenue au degré où elle était d'abord, ce gaz sera ramené à la fin de l'opération précisément à l'état primitif; il y aura une quantité de puissance motrice consommée égale à celle qui est nécessaire pour réduire le gaz à moitié de son volume. »

Un croquis nous montre, centrés sur le même axe, deux réservoirs cylindriques, un tube qui les réunit et un ajutage conique qui prolonge ce tube à l'intérieur d'un des réservoirs. A chacun de ces cylindres est relié un corps de pompe dans lequel un piston maintient constante la pression. Les réservoirs sont encore en communication par l'intermédiaire d'une pompe qui ramène le gaz à son point de départ, de façon à répéter ou à prolonger indéfiniment l'expérience.

Ainsi Carnot, qui mourut en 1832, avait tracé exactement le plan de l'expérience que Joule et W. Thomson exécutèrent en 1854 (1).

II. — Ce qui avait amené Carnot à penser que la détente des gaz sans travail extérieur n'entraine aucune variation de température, c'est une expérience dont il dit (*loc. cit*, p. 91) « M. Gay-Lussac a fait voir (dit-on) que si l'on mettait en communication entre eux deux récipients, l'un vide, l'autre plein d'air, la température s'élevait autant dans l'un qu'elle s'abaissait dans l'autre ». Les variations de température n'étaient, quand Gay-Lussac les lisait sur des thermomètres à alcool, que d'une fraction de degré; s'il s'était agi de la température réelle du gaz dans l'un et l'autre ballon, la différence de densité eut été très petite entre les deux masses, en équilibre de pression. Le retour à l'équilibre complet, par conductibilité calorifique, aurait bien ramené le gaz à la température initiale. Il n'en a pas fallu plus à R. Mayer pour tirer une conclusion.

Carnot est plus prudent. Il a calculé, dans les *Réflexions sur la puissance motrice du feu* [p. 53, 54 (29 de la réimpression de 1878)], la variation de température qu'entraine pour l'air une réduction brusque de moitié de son volume. Il sait que, dans une détente parfaitement adiabatique du gaz, la différence de température qui devrait s'établir entre les deux ballons de Gay-Lussac atteindrait plusieurs dizaines de degrés. Dès lors les densités et les masses totales dans les deux ballons seraient notablement différentes et les variations de température en plus et en moins devraient l'être également pour que le retour à l'équilibre rendit au gaz sa température première L'expérience de Gay-Lussac ne légitime donc aucune conclusion arrêtée (2).

(1) On trouve également un programme très précis dans un paragraphe de l'*Extrait des notes inédites de Sadi Carnot*, etc., p. 96.

(2) Gay-Lussac avait donné à son Mémoire le titre modeste de *Premier essai pour déterminer les variations de température qu'éprouvent les gaz en changeant de densité, et considérations sur leur capacité pour le calorique*. Il avait parfaitement remarqué l'influence perturbatrice des récipients et des thermomètres. Pour une pression initiale de 76 cm de mercure, les variations de température observées sur le thermomètre à alcool étaient notablement inégales; elles étaient presque décuplées avec le thermomètre à air.

Les *Procès-verbaux des séances de l'Académie, tenues depuis la fondation de l'Institut jusqu'au mois d'août 1835*, publiés par MM. les Secrétaires perpetuels, nous apprennent que le Mémoire de Gay-Lussac, lu dans la séance du 15 septembre 1806 (t. III, p. 423), fut examiné par Laplace, Delambre et Hauy. Ce dernier lisait, le 1er décembre, un Rapport étendu (p. 459).

Le travail fut publié dans le tome I des *Mémoires de Physique et de Chimie de la Société d'Arcueil*, p. 180-205. Un résumé très succinct se trouve dans le tome LXIV (1807), p. 324, des *Annales de Chimie*.

A la différence de Mayer, Carnot n'en déduit de conséquences que sous forme conditionnelle et se préoccupe de les vérifier.

III. — *Le calcul numérique de E était déjà fait dans les* Réflexions.

Carnot s'était proposé de vérifier que le rendement en travail d'une machine parfaite ne dépend que des températures des sources. Il lui fallait pour cela calculer les aires ΔW de cycles limités par deux segments d'isothermes t, $t \times \Delta t$ très voisins et deux côtés à volume constant v, $v + \Delta v$. De plus il fallait connaître la quantité de chaleur ΔQ mise en jeu le long d'une des parties isothermes.

Pour l'air, il avait remarqué, dans les *Réflexions* [p. 43-46 (23-24)], que la chaleur de compression, à 6° (ou à 0°), à partir de la pression atmosphérique, était égale à la chaleur nécessaire pour élever la température de 1° sous pression constante, soit (d'après Delaroche et Bérard) 0,267, quand la variation relative de volume $\frac{\Delta v}{v}$ atteignait $\left(\frac{1}{116} + \frac{1}{267}\right)$. La première fraction était la valeur que Poisson avait calculée pour $-\frac{1}{v}\left(\frac{\partial v}{\partial t}\right)_{\text{adiab.}}$ en partant de la vitesse du son; la seconde était le cœfficient de dilatation des gaz (d'après Gay-Lussac). Choisissant pour Δv la valeur ci-dessus; pour t, 0°; pour Δt, 0°,001, Carnot considérait un un cycle dont l'aire était

$$\Delta W = \frac{\partial p}{\partial t}\, 0{,}001\, \Delta v = \frac{p}{t}\, 0{,}001\, \Delta v = \frac{p}{267}\, 0{,}001\, \Delta v,$$

c'est-à-dire précisément, à une puissance près de 10, le quotient du travail de compression $p\Delta v$ par la chaleur correspondante à Δv, soit 0,267.

Carnot n'a donc eu qu'à jeter un coup d'œil sur la page 81 (44) des *Réflexions* pour transformer la valeur 0,000 000 372 de l'aire ΔW en 0,372, dont il a donné l'inverse approximatif 2,70.

R. Mayer écrit au contraire que l'excès $C - c$ de la chaleur spécifique à pression constante sur la chaleur spécifique à volume constant est l'équivalent du travail de dilatation sous pression constante dans une variation de température de 1°. A aucun moment, dans son calcul, Carnot ne considère cette différence. Poisson lui-même (*Procès-verbaux*, t. III, p. 563 et 594-597) avait calculé la fraction $\frac{1}{116}$ sans parler d'aucune quantité de chaleur (1).

IV. Une fois en possession du principe de l'équivalence, il n'est pas douteux que Carnot ait fait une remarque aujourd'hui classique et reconnu que le rendement à toute température d'un de ses cycles est, pour un gaz, et, par suite, pour un corps quelconque, le quotient de $E\Delta t$ par $267 + t$. Des valeurs du rendement qu'il avait calculées dans le cas de l'eau et de l'alcool, il pouvait alors, par une simple multiplication, tirer celles de E :

476, 407 408 (eau); 413 (alcool),

dont la moyenne se trouve être la valeur très approchée 426.

(1) Cf. DÉCOMBE, *Comptes rendus*, 1919, t. CLXVIII, p. 268.

Digitized by Google

Propriétés physiques de la vapeur de pétrole.

Bien que le pétrole soit un mélange en proportions variables de divers hydro-carbures, les propriétés physiques de la vapeur des pétroles commerciaux ayant une densité comprise entre 0,800 et 0,810 sont suffisamment constantes pour qu'on puisse utiliser dans l'étude des moteurs à pétrole les valeurs numériques qui les expriment. M. Jean Rey, qui a déjà montré tout le parti que l'on peut tirer de la connaissance de ces propriétés pour l'établissement du diagramme entropique du pétrole (1), vient, dans une note récente à l'Académie des Sciences (2), d'apporter une nouvelle contribution à ce sujet ; nous reproduisons intégralement cette note ci-dessous.

Caractéristique physique $f(p, v, T) = 0$. — De la courbe des tensions de vapeur, dont j'ai indiqué la loi dans une note précédente, ainsi que de la valeur de la chaleur de vaporisation, on déduit, par la formule de Clapeyron, le volume spécifique v de la vapeur, en fonction du volume du liquide u, pour chaque température t centigrade. Ce volume se calcule d'abord à l'aide des expériences de Bartoli et Stracciati (3), qui donnent le coefficient de dilatation Δ pour chaque température centigrade t

$$\Delta = 0{,}00085 + 0{,}000\,0012\ t.$$

D'où le volume du liquide en litres

$$U_t = 1{,}25\ [1 + t\ (0{,}00085 + 0{,}000\,0012\ t)],$$

la densité moyenne du pétrole étant de 0,800 à la température de 0° C.

On en déduit, en fonction de la pression absolue p, en kilogrammes par centimètre carré, les volumes spécifiques v de la vapeur de pétrole, en mètres cubes

p (kg:cm²)	1	3	5	10	15	25	40	60
v (m³)	0,269	0,0849	0,0502	0,0256	0,0178	0,0115	0,00803	0,00624

A l'aide de ces résultats, on trouve qu'entre 3 et 25 kg : cm² de pression absolue, la fonction $f(p, v, T) = 0$, pour la vapeur de pétrole surchauffée, est sensiblement de la forme

$$p\ (v + a) = RT, \tag{1}$$

dans laquelle les deux constantes ont pour valeur

$$a = 0{,}024; \quad R = 5{,}09.$$

Divers expérimentateurs ont, d'ailleurs, démontré que cette forme (1) représente, avec une assez grande approximation, la constitution physique de la vapeur d'eau surchauffée.

Bertrand (2) a indiqué que cette forme s'applique également à un corps dont le travail interne de dilatation est nul et dont les deux chaleurs spécifiques sont fonction de la température seulement, leur différence

$$C_p - C_r = AR.$$

étant constante.

Vitesse d'écoulement. — Ceci posé, en employant une méthode particulière dont le détail se trouvera dans un autre recueil, j'ai pu établir que la vitesse d'écoulement V_c d'un pareil fluide sortant d'une tuyère à section conique convergente, est représentée, au débit limite, par l'expression suivante

$$V_c = 4{,}43 \sqrt{RT_s \frac{K}{K+1} - a\,(p_0 - p_c)},$$

dans laquelle T_s est la température de la vapeur surchauffée en amont, p_0 sa pression, p_c la pression à la section de sortie, K le rapport des chaleurs spécifiques.

Une fois connue la valeur K, on a, pour la vitesse et la pression de sortie, les formules suivantes

$$V_c = 4{,}43 \sqrt{2{,}5677\ T_s - 0{,}00024\ (p_0 - p_c)},$$

$$p_c = p_0 \left(\frac{2}{K+1}\right)^{\frac{K}{K-1}} = p_0 \times 0{,}6036.$$

La chaleur spécifique sous pression constante s'obtient par la formule de Heen, en fonction de la chaleur spécifique et du coefficient de dilatation du liquide ainsi que de la chaleur de vaporisation. On trouve ainsi

$$C_p = 0{,}2508 + 0{,}000616\ T + 0{,}1077 \times \overline{10}^{6} \times T^2,$$

Connaissant la différence des deux chaleurs spécifiques et la chaleur spécifique sous pression constante, il est facile d'en déduire la chaleur spécifique à volume constant

$$C_p - C_r = \frac{5{,}09}{425} = 0{,}012, \quad \text{d'où} \quad K = \frac{C_p}{C_p - 0{,}012};$$

pour $p_0 = 10$ kg : cm²,

$$C_p = 0{,}6432, \quad C_r = 0{,}6312, \quad K = 1{,}019;$$

pour $p_0 = 25$ kg : cm²,

$K = 1{,}017$ (la moyenne est sensiblement $K = 1{,}018$).

On trouve également, pour le volume spécifique à la section rétrécie,

$$V_c = \frac{RT_s}{p_0} \left(\frac{K+1}{2}\right)^{\frac{1}{K-1}} - a = 8{,}37\ \frac{T_s}{p_0} - 0{,}0024.$$

J'ai comparé ces résultats du calcul avec ceux fournis par les expériences d'écoulement de la vapeur surchauffée de

(1) Jean Rey ; Sur le diagramme entropique du pétrole. *Comptes rendus*, 4 mars 1918, t. clxvi, p. 387 et *R. G. E.*, 1er juin 1918, t. iii, p. 796. Cette note contient deux erreurs d'impression dans la formule des tensions de vapeurs, erreurs qui ont été signalées dans la *R. G. E.*, 22 juin 1918, t. iii, p. 928, et que nous rappelons à nouveau :

Page 798, il faut lire

$$T = 1{,}167\ T_0 + 0{,}641\ (T_0 - 373),$$

au lieu de

$$T = 1{,}167\ T_0 - 0{,}641\ (T_0 - 273).$$

(2) Jean Rey ; Propriétés physiques de la vapeur de pétrole. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 10 mars 1919, t. clxviii, p. 509-513.

(3) *Gazzetta chimica italiana*, année 1884, fasc. X, p. 549.

(1) Tumlirtz ; Essais de Batelli. *Kœnig. Akademie der Wissenschaften in Wien* 1899, t. cviii.

(2) *Thermodynamique*, p. 148.

Digitized by Google

pétrole que j'ai effectuées sur des brûleurs-vaporisateurs. Parmi ces essais, 42 ont été retenus et la discussion en a réduit le nombre à 18.

Les ajutages d'écoulement étaient de 6 calibres différents, de 1,40 mm de diamètre jusqu'à 3,80 mm. Les débits horaires ont varié de 2,880 à 41,500 kg : h et les pressions absolues de 1,620 jusqu'à 19,700 kg : cm².

Les températures absolues de la vapeur ont passé de 623° jusqu'à 813°.

La comparaison des résultats donne, pour la moyenne arithmétique des écarts, 2,4 pour 100, c'est-à-dire que le débit calculé est de 2,4 pour 100 plus élevé que le débit observé. Cet écart, qui paraît systématique, est dû probablement à la viscosité de la vapeur de pétrole, plus forte que celle de la vapeur d'eau.

Si l'on retranche cette erreur systématique de la valeur des écarts rangés par ordre de grandeur, les différences sont sensiblement d'accord avec la courbe des erreurs, l'écart moyen quadratique étant de 0,0553, et l'écart probable de 0,041, soit 9 pour 100 de différence d'avec le rapport théorique, 0,67, de ces deux nombres.

Étant données les difficultés de ces expériences dues à la variation de composition du pétrole employé et aux mélanges pratiqués par les distillateurs, on peut dire que l'accord entre la théorie et l'observation est satisfaisant ; pour les besoins de la pratique, il est en tous cas suffisant.

Les formules précédentes permettent donc de calculer le débit de la vapeur surchauffée de pétrole se détendant d'une enceinte dans une autre et de constitution physique répondant à la formule $p\ (v + 0{,}0024) = 5{,}09\ T$.

Signalons particulièrement la faible valeur du rapport des chaleurs spécifiques. Les mesures de Capstick sur le méthane, l'éthane et le propane indiquent clairement qu'à mesure que la molécule se complique, la valeur de ce rapport diminue.

Sur les coefficients d'aimantation des gaz paramagnétiques et la théorie du magnéton.

Sous ce titre MM. Edmond Bauer et Auguste Piccard ont présenté à la séance du 7 mars de la Société française de Physique une communication qui apporte une nouvelle contribution à la théorie du magnéton de M. Weiss dont les principes ont été exposés par celui-ci dans cette Revue (1). Nous reproduisons ci-dessous le résumé de cette communication.

Le coefficient d'aimantation spécifique (susceptibilité rapportée à l'unité de masse) de l'oxygène a déjà été déterminé à plusieurs reprises. Celui de l'oxyde azotique a été l'objet d'un travail récent de M. P. Weiss et de l'un de nous.

Voici quelques-uns des résultats obtenus :

	Oxygène (à 20° C.)	Oxyde azotique (à 20° C.)
P. Curie (1)	115 .10⁻⁶	»
P. Weiss et A. Piccard (2)	105,68.10⁻⁶	57,9.10⁻⁶

Il était intéressant de reprendre ces mesures avec autant de précision que possible. En effet, c'est aux gaz paramagnétiques que s'applique avec le plus de rigueur la théorie du magnétisme de Langevin. Cette théorie permet de déduire de la valeur du coefficient d'aimantation à une température connue, celle du *moment magnétique moléculaire* qui, d'après l'hypothèse du magnéton de P. Weiss, doit être un multiple entier (relativement simple) du *magnéton-gramme*, 1123,5 C. G. S.

Deux méthodes différentes ont été employées. La première est celle qui avait servi au travail antérieur de Weiss et Piccard, mais notablement perfectionnée. La deuxième est nouvelle. Les nombres obtenus par ces deux méthodes, à l'aide de trois appareils différents, sont parfaitement concordants.

Voici les résultats définitifs :

O^2	$\chi_{20} = 107{,}7$	$10^{-6} \pm 0{,}3\ .10^{-6}$
NO	$\chi_{20} = 48{,}7$	$10^{-6} \pm 0{,}25.10^{-6}$

La différence entre les nombres de ce tableau et ceux qui avaient été obtenus antérieurement tient à une cause d'erreurs systématiques que nous avons pu mettre en évidence et éliminer.

La précision relative des mesures est d'environ 3 pour 1000 pour l'oxygène, 5 pour 1000 pour l'oxyde d'azote.

Les détails d'expérience seront publiés au « Journal de Physique ».

Si l'on déduit des nombres ci-dessus les moments magnétiques moléculaires et le nombre n de magnétons correspondants, on trouve :

Pour l'oxygène, $n = 7{,}06$ (par atome) ;

Pour l'oxyde azotique, $n = 9{,}02$ (par molécule).

C'est-à-dire des nombres *qui ne sont pas entiers*. L'écart est certainement supérieur aux erreurs possibles d'expérience.

Ces mesures, calculées à la manière habituelle, sont donc en contradiction avec la théorie du magnéton, et pourtant celle-ci repose sur un ensemble si étendu de concordances qu'il ne semble pas permis d'y renoncer actuellement.

Cependant, il nous semble nécessaire de la compléter en tenant compte des écarts bien connus entre la théorie cinétique classique et les faits et particulièrement de ceux qui sont relatifs aux mouvements de rotation des molécules et aux chaleurs spécifiques des gaz.

Ce travail a été fait au laboratoire de P. Weiss à Zurich pendant l'internement de l'un de nous en Suisse (hiver-printemps 1918).

(1) Pierre Weiss ; Le magnéton. *R. G. E.*, 10 février 1917, t. I, p. 203. Le magnéton et les sels paramagnétiques ; *R. G. E.* 15 décembre 1917, t. II, p. 925.

(1) P. Curie, *Œuvres*, 1895, p. 277.

(2) Weiss et Piccard, *C. R. Acad. Sc.*, 1912, t. CLV, p. 1234 et t. CLVII, 1913, p. 906.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

Sur la mesure des débits de cours d'eau dans le Plateau central

L'utilisation totale et rationnelle de l'énergie hydraulique d'un cours d'eau exige la connaissance exacte de son régime, c'est-à-dire, du débit global annuel moyen de la répartition de ce débit entre les diverses périodes de l'année. Ces données se déduisent d'observations de niveaux et de vitesses de l'eau au déversoir échelonnées sur une période assez longue, dix ans au moins ; c'est donc pour satisfaire aux conditions de continuité et de précision qu'exigent ces déterminations que l'auteur a imaginé un enregistreur de niveau d'eau et un dispositif de chronophotographie d'un filet liquide décrits ci-dessous.

Parmi les objectifs de l'étude qui se poursuit actuellement sur les cours d'eau du Massif, — ou Plateau — central en vue de l'aménagement hydro-électrique de leur puissance, l'un des plus importants est le *régime* : débit global annuel moyen, répartition de ce débit entre les diverses périodes de l'année, rapport entre les débits annuels extrêmes. La base de cette étude spéciale est une mesure des débits qu'il faudrait avoir continue et aussi précise que possible. La continuité peut s'obtenir par l'enregistrement de niveaux bien définis ; la précision exige la connaissance exacte de la relation existant entre la vitesse moyenne de l'eau dans une section déterminée et le niveau observé.

Avec une section quelconque, irrégulière et déformable comme sont trop souvent les sections ordinaires de nos cours d'eau, la précision désirable est impossible à atteindre, mais on est obligé de s'en contenter dans la plupart des cas. Il n'en est plus de même quand la section étudiée présente la régularité mathématique de la lame liquide passant sur un déversoir bien fait. Heureusement, les ouvrages de ce genre sont maintenant assez nombreux sur les principaux cours d'eau de la région pour que l'on puisse étudier le régime de ceux-ci avec toute la précision voulue. D'ailleurs, à mesure que l'on construira de nouveaux déversoirs, on pourra acquérir une connaissance du régime de plus en plus approfondie ; l'on connaîtra ainsi de mieux en mieux la matière première de l'industrie hydro-électrique, — l'eau des rivières, — et cette connaissance permettra de donner une direction absolument rationnelle aux constructions ultérieures.

Ce qui me semble le plus urgent à établir dès maintenant, c'est un bon système d'observations de niveau car, pour que les observations aient une valeur pratique, il faut qu'elles embrassent une assez longue période ; mon expérience personnelle, pour l'étude du Cher, me montre qu'il ne faut pas moins de dix années pour arriver à des conclusions à peu près sûres. Quand on possèdera les résultats de bonnes observations pour une période assez longue, il sera facile de les étudier en peu de temps et d'en tirer les conclusions qu'elles comportent.

Mesures de niveaux. — Quand on a affaire à un barrage réservoir comme ceux qui existent dès maintenant en certain nombre, tel Rochebut sur le Cher, le niveau à observer est celui qu'atteint l'eau dans la partie tranquille du réservoir. Mais si l'on veut utiliser un déversoir comme ceux, innombrables, qui furent établis autrefois pour les biefs de moulins, la nappe d'eau ayant une vitesse appréciable assez loin en amont du déversoir, il faudrait isoler une petite portion riveraine du flux liquide dans une sorte de canal fermé en cul de-sac au droit de l'arête du déversoir ; c'est le niveau de l'eau dans ce remous qu'il conviendrait d'observer. Dans tous les cas, des échelles métriques disposées à cet effet permettent de noter les variations du niveau par des lectures plus ou moins fréquentes. Mais, dans une grande nappe d'eau, le clapotis qui se produit presque inévitablement à la surface laisse une trop grande part à l'erreur dans l'appréciation du niveau moyen qu'il est nécessaire de connaître. En outre, la position de l'échelle oblige quelquefois l'observateur à un long parcours dont il peut être tenté de s'abstenir. Il serait donc préférable de recourir à un mode d'observation indépendant du clapotis et pouvant se faire dans un endroit constamment occupé par des personnes, dans la salle des machines de l'usine par exemple. Voici un moyen que l'on peut employer dans ce but et qui se prêterait parfaitement à l'enregistrement.

Soient deux tuyaux cylindriques verticaux, A et B, fig. 1, de dimensions 120 cm × 10 cm, réunis en bas de manière à former vases communicants. L'un de ces cylindres, A, est ouvert en haut, l'autre est fermé. Ce dernier porte en outre un tube étroit, C, assez long pour que son extrémité libre puisse plonger dans l'eau du réservoir, (à une dizaine de centimètres au dessous du niveau supérieur du déversoir) ; en outre, on y peut souffler de l'air en D par un moyen approprié aux circonstances. Les deux vases contiennent de l'eau jusqu'au milieu de leur hauteur environ et le vase ouvert, A, renferme un flotteur prolongé par une tige munie d'un index ou d'un crayon. Si l'on souffle dans le vase fermé, la pression de l'air détermine une différence de niveau qui croît

Digitized by Google

jusqu'à ce quelle atteigne la distance verticale de l'orifice immergé du petit tube à la surface de l'eau du réservoir. Si l'on continue le soufflage, l'air en excédent sort par cet orifice et la différence de niveau se maintiendra ; elle suivra toutes les variations de niveau d'équilibre sans obéir au clapotis, mais le flotteur se déplacera deux fois moins que ce niveau. Ces déplacements seront néanmoins très suffisants pour évaluer les variations de niveau avec la précision pratiquement nécessaire. On pourra, soit lire les hauteurs sur une échelle, soit les enregistrer sur une feuille de papier ad hoc. Dans le premier cas, il suffira d'établir la pression en B au moment de chaque lecture à l'aide d'une pompe pneumatique ordinaire ; dans le second, il faudra maintenir un soufflage, de faible débit, d'une manière continue, au moyen d'une trompe soufflante par exemple, pour laquelle on aura une alimentation assurée surabondamment. L'appareil pourra se placer très loin du déversoir, dans l'usine même où le personnel pourra l'avoir constamment sous les yeux.

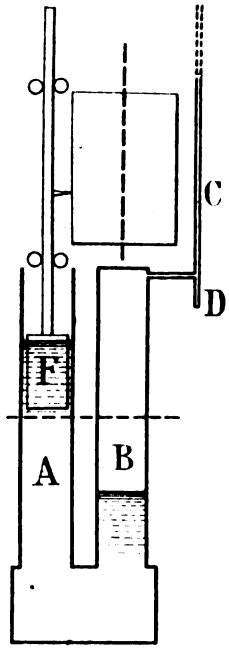


Fig. 1.

Mesures de vitesses au déversoir. — Le débit d'un déversoir s'exprime par la formule

$$Q = ml\sqrt{2g}\,z^{\frac{3}{2}},$$

z étant la charge sur le déversoir. Cette charge peut se déduire du niveau observé ; quant au coefficient m, assez variable, il dépend de la forme du déversoir et de la charge elle-même suivant une loi empirique qui demanderait à être déterminée pour chaque déversoir. De nombreuses déterminations de ce genre ont été faites par l'ingénieur Bazin et l'on peut recourir, en première approximation, aux données de cet auteur. Cependant, dans le cas qui nous occupe, il serait préférable d'étudier directement chacun des déversoirs à utiliser pour la mesure précise des débits. Dans ce but, il me semblerait avantageux d'employer une méthode qui m'a servi dans des expériences d'enseignement et qui, avec des moyens simples, donne des résultats très exacts.

En somme, le débit par unité de longueur d'une lame déversante est égal au produit d'une section orthogonale de la lame multipliée par la vitesse du filet moyen dans cette section, vitesse peu différente de la vitesse superficielle sur un déversoir à surface bien régulière. Il suffira donc de déterminer la vitesse sur une portion de filet superficiel et la section moyenne correspondante pour calculer le débit. Voici comment on peut y parvenir.

Chronophotographie du mouvement d'un filet liquide. — Considérons : 1° un appareil photographique pourvu d'un objectif aplanétique et sans distorsion, d'environ 25 cm de foyer, très diaphragmé ; 2° un point lumineux mobile dans un plan parallèle à la plaque photographique devant un fond sombre ; 3° une roue dentée, genre Fizeau, tournant uniformément devant l'objectif et tout près.

Supposons la roue immobile, dans une position telle que l'axe de l'objectif passe entre deux dents. L'image du point lumineux mobile, en se déplaçant sur la plaque, dessine la forme de sa trajectoire en un trait continu. Mais si la roue tourne, il se produit une succession d'émissions de lumière et d'occlusions dont le résultat est un trait interrompu. Les extrémités des divers tronçons, dont il sera possible de mesurer les coordonnées, marqueront les positions du mobile à des intervalles de temps consécutifs et égaux. Il sera dès lors possible de trouver la loi du mouvement image et, par suite, celle du mouvement objet, connaissant le rapport de la grandeur de l'image à celle de l'objet.

J'ai appliqué cette méthode, à l'étude du mouvement de la chute des corps et du mouvement des projectiles dans les conditions de résistance aérienne négligeable ; elle a donné des résultats extrêmement satisfaisants. Le point lumineux mobile est alors l'image du soleil donnée par une bille d'acier bien polie, de 2 cm de diamètre. Cette image, donnée par un miroir sphérique convexe, est extrêmement petite, — pratiquement un point, — mais extrêmement brillante. Son image donnée par l'objectif, même très diaphragmé, impressionne fortement la plaque, même en se déplaçant avec une vitesse d'un mètre par seconde.

Si l'on voulait chercher la loi du mouvement de l'eau sur un déversoir par ce moyen, on prendrait un petit ballon de verre argenté, de 5 cm de diamètre, lesté de manière à s'immerger jusqu'au niveau de l'image vue par l'objectif. En arrière de la trajectoire du ballon, on placerait un écran noir formé d'une feuille de tôle verticale parallèle à la direction des filets d'eau et immergée jusqu'à un point repéré du déversoir ; cet écran porterait en outre deux règles métriques pouvant jouer le rôle d'axes de coordonnées dans le plan de la trajectoire du point lumineux. On immergerait le ballon, tenu d'abord au bout d'une sorte de ligne de pêche de manière que la trajectoire du point lumineux soit à une distance connue de l'écran (environ 10 cm).

A chaque extrémité de tronçon de trajectoire photographiée existe une petite zone incertaine correspondant au temps de passage d'un bord de dent devant le diaphragme. Si cette durée est la cinquantième partie du passage d'une dent — ou d'un creux — devant le centre de l'objectif, la longueur de la zone incertaine est seulement la cinquantième partie de la longueur du trait et, avec un peu d'habitude, on situe assez exactement son milieu pour que l'erreur relative dans l'éva-

Digitized by Google

luation de la longueur soit largement inférieure à 0,01.

Si le diaphragme a 3 mm de diamètre (1), ce qui permet encore une forte impression sur plaques. Lumière à étiquette violette, la condition précédente sera remplie avec des dents de 150 mm de largeur moyenne, ce qui, pour le nombre minimum pratique de trois dents et trois creux, exige une roue de 286 mm de diamètre au milieu des dents. Une telle roue tournant à trois tours par seconde donne des intervalles de 1/18 de seconde. En tout cas, on règlera la vitesse angulaire de la roue de manière que l'erreur absolue possible sur la mesure d'un tronçon, par suite de l'incertitude terminale, soit du même ordre de grandeur que celle provenant de l'évaluation à la loupe d'une fraction de division de l'échelle métrique employée, soit 0,1 mm environ ; c'est-à-dire que l'on fera en sorte d'obtenir des tronçons dont la longueur soit comprise entre 1 et 2 cm.

Connaissant le profil exact du déversoir et ayant repéré un point par rapport aux échelles métriques, on pourra tracer ce profil sur la photographie à l'échelle de celle-ci. On connaîtra ainsi les épaisseurs de la lame versante en même temps que les vitesses correspondantes. Le produit de ces deux grandeurs doit être constant pour une section longitudinale de la lame, ce qui constitue un moyen de contrôle des diverses mesures. Il devient dès lors possible d'évaluer avec une assez grande exactitude le débit par unité de longueur pour un niveau de charge connu. En répétant l'opération pour plusieurs régimes différents du déversoir, il sera possible de dresser un graphique des débits pour tous les niveaux observés entre les limites des diverses expériences ; on aura ainsi étalonné le déversoir.

Les expériences nécessaires à l'étalonnage d'un déversoir peuvent se faire quand on voudra, lorsque les conditions de hauteur seront favorables. Quandon aura fait le travail complet, il conviendra de traduire le graphique des débits en une règle graduée qu'il suffira de déplacer sur la feuille d'enregistrement des niveaux pour relever rapidement les débits correspondants.

P. Morin.

(1) Avec un tel diaphragme, une lentille simple de 25 cm de foyer est pratiquement aplanétique et sans distorsion ; elle est d'ailleurs plus lumineuse qu'un objectif composé, pour une même ouverture, elle ne présente en tout que deux surfaces réfléchissantes.

Normalisation des groupes électrogènes à turbines à vapeur

Le règlement ci-dessous adopté et appliqué provisoirement par la Chambre Syndicale des Constructeurs de Gros Matériel Electrique et les Maisons construisant des turbines à vapeur Système Rateau n'est publié qu'en vue d'amorcer la discussion d'une réglementation plus générale des fournitures de cette catégorie.

Unification technique.

Définition de la puissance. — 1. Puissance de régime. — La puissance de régime est la puissance maximum que le groupe peut fournir sous les conditions normales de fonctionnement et d'essai spécifiées dans le cahier des charges. Sauf spécification contraire, ces conditions sont celles de la Chambre syndicale des Constructeurs de Gros Matériel électrique.

2. Puissance économique. — La puissance économique correspondant à la puissance moyenne que la machine fournirait en exploitation est généralement inférieure à la puissance de régime définie ci-dessus, sous § 1. La « puissance économique » normale est fixée à 80 pour 100 de la puissance de régime.

3. Gamme de puissances normales des groupes. — Les types de construction normaux sont indiqués dans les tableaux I et II. Les alternateurs triphasés normaux sont construits pour un facteur de puissance de 0,8.

Tableau I. — *Puissance en kilowatts aux bornes de l'alternateur.*

Groupes turbo-alternateurs fréquence = 50 p : sec			
3000 t : min		1 500 t : min	
Puissance de régime.	Puissance économique.	Puissance de régime.	Puissance économique.
350 (1)	280	6 000	4 800
500	400		
750	600	10 000	8 000
1 000	800		
1 500	1 200	15 000	10 200
2 000	1 600		
3 500	2 800	25 000	20 000
6 000	4 800		
10 000	8 000		

(1) La puissance de 350 kw doit être considérée comme exceptionnelle.

Digitized by Google

TABLEAU II. — *Puissance en kilowatts aux bornes de la génératrice.*

GROUPES TURBO-ALTERNATEURS fréquence, 25 p:sec 1 500 t : min		GROUPES TURBO-DYNAMOS 3 000 t : min		1 500 t : min	
Puissance de régime.	Puissance économique.	Puissance de régime.	Puissance économique.	Puissance de régime.	Puissance économique.
1 500	1 200	500	400		
2 000	1 600	750	600	750	600
3 500	2 800	1 000	800	1 000	800
6 000	4 800			1 500	1 200
10 000	8 000			2 000	1 600
15 000	12 000				
25 000	20 000				

4. Les types de puissances normales sont établis pour le cas de turbines ou de génératrice unique. Les groupes peuvent aussi être montés en compound et tandem pour l'obtention des plus grandes puissances aux vitesses indiquées.

Constantes de vapeur. — 10. PRESSION NORMALE. — La pression normale de vapeur est de 12 kg : cm² à la boîte de prise de vapeur de la turbine.

11. SURCHAUFFE NORMALE. — La surchauffe normale est de 300° C à la boîte de prise de vapeur de la turbine.

12. VIDE NORMAL. — Le vide normal est de 96 pour 100.

13. PRESSIONS EXCEPTIONNELLES. — Les turbines seront aussi construites pour trois *pressions de vapeur exceptionnelles*.

1° 15 kg : cm² avec surchauffe de 350° C à la boîte de prise de vapeur de la turbine ;

2° 9 kg : cm² avec surchauffe de 250° C à la boîte de prise de vapeur de la turbine ;

3° 6 kg : cm² et vapeur saturée.

Constantes d'eau de condensation. — 20. TEMPÉRATURES NORMALES. — Les températures normales d'eau de condensation sont de 15° et 27°. Les garanties de consommation seront toujours référées à ces chiffres.

Dimensions unifiées. — 25. HAUTEUR D'AXE DES PALIERS. — Les hauteurs d'axe normales des paliers sont indiquées dans le tableau III.

26. HAUTEUR D'AXE AU-DESSUS DU SOL (Carrelage). — Le tableau IV donne les dimensions de la hauteur d'axe normale au-dessus du sol (carrelage).

27. BOUTS D'ARBRES. — Les arbres de la turbine et du générateur peuvent être exécutés avec bout d'arbre conique ou avec plateau d'accouplement forgé d'une seule pièce avec l'arbre.

TABLEAU III. — *Hauteur d'axe des paliers en millimètres.*

PUISSANCE DE RÉGIME EN KILOWATTS	VITESSE ANGULAIRE DU GROUPE EN TOURS PAR MINUTE	
	3 000	1 500
350	385	
500		
750	385	385
1 000		
1 500	385	500
2 000		
3 500	500	580
6 000	500	750
10 000		
15 000		

TABLEAU IV. — *Hauteur d'axe au-dessus du sol (carrelage) en millimètres.*

PUISSANCE DE RÉGIME EN KILOWATTS	VITESSE ANGULAIRE DU GROUPE EN TOURS PAR MINUTE	
	3 000	1 500
350	730	
500		
750	730	830
1 000		
1 500	780	930
2 000		
3 500	930	1 030
6 000	1 030	
10 000	1 180	1 230
15 000		

Lorsque l'arbre est muni d'un bout d'arbre conique, les dimensions de ce dernier doivent être prises dans le tableau V.

Les clavettes sont encastrées parallèlement à l'axe de l'arbre. Elles sont en acier.

Quand l'accouplement vient de forge avec l'arbre, les dimensions sont celles des plateaux d'accouplement normales, voir § 13.

28. ACCOUPLEMENTS RIGIDES NORMAUX. — Les dimensions des accouplements rigides normaux sont celles indiquées au tableau VI.

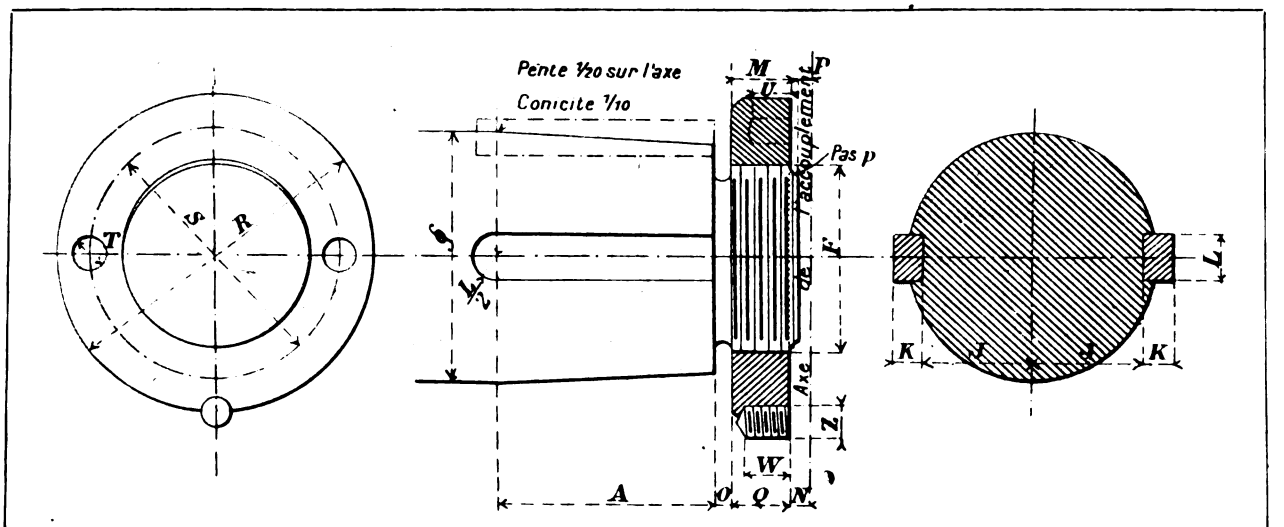
Les manchons d'accouplement sont en acier demi-dur ayant une résistance à la rupture de 60 kg : mm².

29. DIAMÈTRE ET LONGUEUR DES FUSÉES DES GÉNÉRATEURS ET LEUR POSITION PAR RAPPORT A L'ACCOUPLEMENT. — L'unification des diamètres des fusées est intimement liée à la construction du générateur. Il a été laissé aux constructeurs le soin de choisir entre deux diamètres pour certains types de machines afin de tenir compte des particularités de la construction.

Les dimensions normales sont indiquées dans le tableau VII.

Digitized by Google

TABLEAU V. — *Bouts d'arbres pour turbines et turbo-générateurs (dimensions en millimètres).*



PUISSANCE DE RÉGIME EN KILOWATTS		Φ	A	F	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	W	Z
3 000 t : min	1 500 t : min																	
500		80	70	60	32,5	10	15	22	5	5	3	20	101,8	80	10	12	15	10
750		90	80	70	35,5	13	20	22	5	5	3	20	109,8	90	10	12	15	10
1 000																		
1 500	750	110	95	85	43,5	16	25	27	5	5	3	25	129,8	107	12	16	18	12
2 000	1 000																	
3 500	1 500	140	120	105	55,5	20	30	32	5	5	3,5	30	169,8	135	14	18	18	12
	2 000																	
6 000	3 500	160	135	120	63	24	35	39	8	7	3,5	35	194,6	160	16	20	18	12
10 000		180	150	135	69	28	40	44	8	7	3,5	40	214,6	180	18	24	20	14
	6 000	200	165	150	79,5	28	40	49	8	7	4	45	239,6	195	20	26	20	14
		225	185	170	88,5	33	46	54	8	7	4	50	269,6	220	22	30	20	14
	10 000	275	225	205	107,5	43	59	65	10	10	4	60	324,4	270	26	34	24	16
	15 000																	
	25 000	325	260	245	128,5	48	65	75	10	10	4	70	384,4	315	30	38	27	18

Divers. — 40. PRESSION DE L'HUILE DE GRAISSAGE DES PALIERS. La pression de l'huile de graissage à l'entrée dans les paliers a été fixée pour tous les types de turbines et générateurs à 0,5 kg : cm².

41. TEMPS D'ESSAI DE CONSOMMATION DE VAPEUR. — La durée des essais de consommation sera :

1° Quelques minutes de régime stable lorsque la mesure est faite en utilisant une tuyère calibrée placée dans la tuyauterie d'admission de vapeur;

2° Deux heures lorsque la mesure est faite par pesage de l'eau condensée;

3° Huit heures lorsque la mesure est faite par pesage de l'eau d'alimentation des chaudières.

Garanties. — 50. CONSOMMATION DE VAPEUR. — La consommation de vapeur doit être indiquée pour : 100 - 80 - 60 - 40 pour 100 de la puissance de régime, mais la garantie ne portera que sur le chiffre donné pour 100 pour 100 ou 80 pour 100 de la puissance de régime au choix du client lors de la commande.

51. ECART TOTAL DE VITESSE. — L'écart total de vitesse entre la marche à vide et la marche de régime ne dépassera pas 4 pour 100.

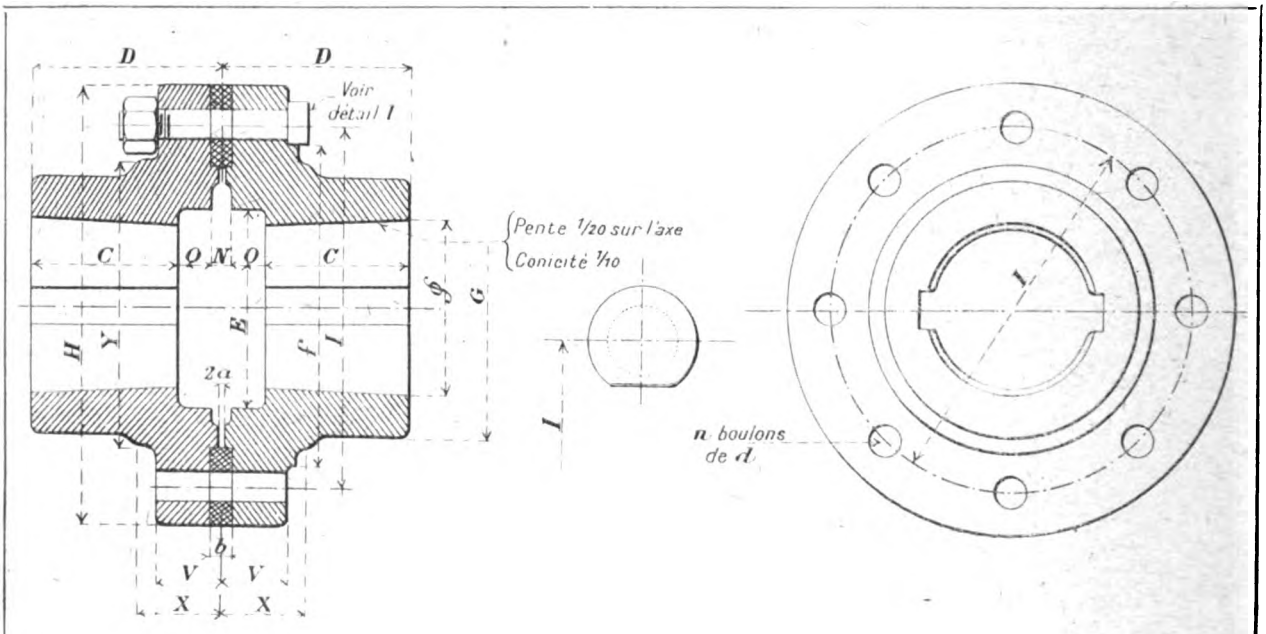
52. DIMINUTIONS BRUSQUES DE CHARGE. — Des diminutions de charge de 20 - 40 - 50 - 80 100 pour 100 ne doivent pas causer une augmentation de la vitesse de plus de 1,25 - 2,5 - 4 - 5 - 6 pour 100.

53. VARIATIONS PROGRESSIVES DE CHARGE. — Les variations progressives de charge de 20 - 40 - 60 - 80 - 100 pour 100 ne doivent pas faire varier la vitesse de plus de 0,8 - 1,6 - 2,4 - 3,2 - 4 pour 100.

54. VARIATION DE VITESSE EN MARCHE NORMALE. — A charge, pression, températures de vapeur et eau constantes, la vitesse ne variera pas de plus de 0,5 pour 100.

Digitized by Google

TABLEAU VI. — *Accouplements rigides pour turbines et turbo-générateurs (dimensions en millimètres).*



PUISSANCE DE RÉGIME EN KILOWATTS		Φ	C	D	E	G	H	I	N	O	V	X	Y	a	b	d	f	m
3 000 t : min	1 500 t : min																	
500		80	75	100	102	130	235	192	5	20	30	40	150	2	15	18	171	8
750		90	85	110	110	140	265	210	5	20	5	45	160	2	16	22	185	8
1 000																		
1 500	750	110	100	130	130	165	310	245	5	25	40	55	185	2	18	27	215	8
2 000	1 000																	
3 500	1 500	140	125	160	170	210	390	303	5	30	50	70	235	2	20	33	268	8
	2 000																	
6 000	3 500	160	142	185	195	240	430	345	8	35	60	80	275	3	22	33	308	12
10 000		180	157	205	215	270	475	390	8	40	70	90	315	3	24	36	350	12
	6 000	200	172	225	240	300	525	430	8	45	80	105	350	4	24	39	387	12
		225	192	250	270	340	580	480	8	50	90	115	395	4	26	42	433	12
	10 000	275	235	305	325	410	705	585	10	60	105	135	490	5	30	48	532	16
	15 000																	
	25 000	325	270	350	385	435	830	690	10	70	125	160	580	5	32	56	628	16

55. VARIATION VOLONTAIRE DE LA VITESSE. — Par le moyen d'un dispositif à main ou électrique, la vitesse pourra être augmentée ou diminuée de 5 pour 100.

56. RÉGULATEUR DE SURETÉ. — Le régulateur de sûreté doit couper l'admission de vapeur dans le cas où, par suite d'une avarie au régulateur ou tout autre cause fortuite, le nombre de tours normal est dépassé de 7 à 10 pour 100.

Ce dispositif doit être manœuvrable également à la main.

57. LIMITE DE VARIATION DE PRESSION DE LA VAPEUR ET DE L'EAU DE CONDENSATION. — La turbine doit pouvoir fournir la puissance de régime dans de bonnes conditions de fonctionnement dans les limites de variation de:

1° Pression de la vapeur : 20 pour 100 en plus ou en moins de la normale;

2° Température de la vapeur : 10 pour 100 en plus ou moins de la normale;

3° Température de l'eau de condensation : 5° en plus de la normale.

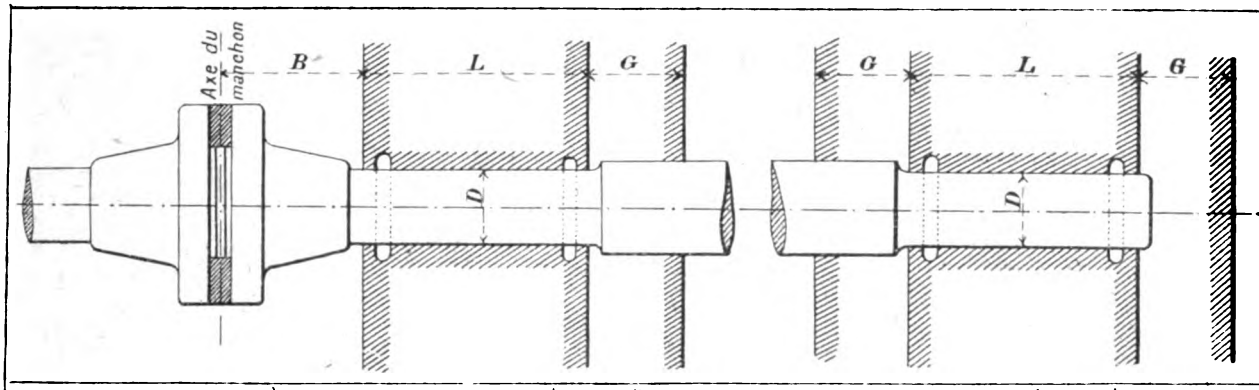
Il est entendu que les deux minima des paragraphes 1 et 2 ne seront pas simultanément remplis.

60. CORRECTIONS D'ESSAI. — Lorsque les conditions de fonctionnement spécifiées ne se trouveront pas rigoureusement réalisées lors des essais, les chiffres de consommation constatés seront corrigés en conséquence (voir § 61-63).

61. CORRECTIONS POUR ÉCARTS DE PRESSION DE VAPEUR.

Digitized by Google

TABLEAU VII. — *Diamètres et longueurs des fusées des générateurs (dimensions en millimètres).*



PUISSANCE DE RÉGIME EN KILOWATTS	NOMBRE DE TOURS PAR MINUTE	D	L	B	G	PUISSANCE DE RÉGIME EN KILOWATTS	NOMBRE DE TOURS PAR MINUTE	D	L	B	G
350	3 000	80—100	200	120	45	3 500	3 000	140—180	350	200	70
500						6 000		180—200	450	220	70
750		100—110	250	130	50	10 000		225—250	650	260	80
1 000						6 000	1 500	250	500	280	80
1 500		120—160	300	160	60	10 000		275	550	350	85
2 000						15 000		300	650		
						25 000		400	850		

— Pour une pression de vapeur s'écartant de la pression effective normale :

Correction pour pression en plus, ± 0;

Correction pour 5 pour 100 de pression en moins :

Pour pression de régime de 9, 12 et 15 kg : cm² : — 1 pour 100;

Pour pression de régime de 6 kg : cm² : — 1,2 pour 100.

62. CORRECTIONS POUR ÉCARTS DE TEMPÉRATURE DE VAPEUR. — Pour une température de vapeur s'écartant de 10 pour 100 en plus ou en moins de la normale :

Correction de + 1 pour 100 par 8,5° C de température en plus;

Correction de — 1 pour 100 par 5,5° C de température en moins.

63. CORRECTIONS POUR ÉCARTS DE TEMPÉRATURE DE L'EAU DE CONDENSATION. — Pour une température d'eau de condensation s'écartant de 5° C en plus ou moins de la normale :

Eau à 15° C :

Correction de + 1,7 pour 100 par 5 degrés en moins;

Correction de — 3,5 pour 100 par 5 degrés en plus pour pressions de régime de 9, 12 et 15 kg : cm².

Correction de — 4 pour 100 par 5 degrés en plus pour pression de régime de 6 kg : cm².

Eau à 27° C :

Correction de + 1,9 pour 100 par 5 degrés en moins.

Correction de — 4 pour 100 par 5 degrés en plus pour pressions de régime de 9, 12 et 15 kg : cm².

Correction de — 5 pour 100 par 5 degrés en plus pour pression de régime de 6 kg : cm².

Tolérances. — 70. Pour tenir compte des inexactitudes expérimentales inévitables, des tolérances doivent être accordées (voir § 71) aux constructeurs de la turbine et du générateur.

71. TOLÉRANCES TOTALES POUR LA CONSOMMATION DE VAPEUR. — 1° Lorsque les essais seront faits par la mesure de la vapeur condensée ou éventuellement par le moyen de tuyères calibrées :

3 pour 100 pour les groupes de puissance supérieure à 1 500 kw;

4 pour 100 pour les groupes de puissance égale ou inférieure à 1 500 kw.

2° Lorsque les essais seront faits en mesurant l'eau d'alimentation des chaudières :

5 pour 100 pour les groupes de puissance supérieure à 1 500 kw;

6 pour 100 pour les groupes de puissance égale ou inférieure à 1 500 kw.

72. RÉPARTITION DES TOLÉRANCES ENTRE LES CONSTRUCTEURS DE LA TURBINE ET DU GÉNÉRATEUR. — Les chiffres donnés au paragraphe 71 sont les tolérances totales minima. Ils tiennent compte des tolérances intéressantes pour chacun des deux constructeurs de la turbine et du générateur bien qu'étant inférieurs à la somme des deux tolérances prises séparément.

Dans le cas où les mesures indiquent qu'il y a lieu d'appliquer des tolérances, le constructeur électricien aura d'abord droit à une tolérance de 1,5 pour 100 de la puissance économique en kilowatts.

Responsabilités. — 73. CONDITION DE REFUS ET DE

Digitized by Google

REMPLACEMENT DU GROUPE. — Si l'excédent de consommation dépasse 10 pour 100, le groupe pourrait être refusé et la modification ou éventuellement le remplacement demandé par le client.

80. RÉPARTITION DE LA FOURNITURE. — Le constructeur de la turbine exécutera tous les paliers avec leur dispositif de graissage et toute la plaque de fondation de la turbine avec la génératrice. La partie, côté génératrice électrique, sera exécutée d'après les indications du constructeur électricien. Les dimensions des fusées de l'alternateur sont celles du paragraphe 29 et sont identiques des deux côtés de l'alternateur. L'excitatrice sera, soit supportée par le palier, soit montée sur une prolongation de la plaque de fondation.

81. RÉPARTITION DE LA RESPONSABILITÉ POUR L'EXÉCUTION DES PALIERS. — Les plans de montage de la partie électrique dans les paliers ayant été soumis par le constructeur de la turbine à l'approbation du constructeur électricien, celui-ci, après acceptation de ces plans, est responsable des fuites qui se produiraient aux paliers.

Le souci de remédier à ces défauts est laissé aux soins du constructeur électricien, à charge pour lui de démontrer la part due à une mauvaise exécution mécanique du palier.

Unification commerciale.

100. D'une façon générale, les « Conditions générales de vente » de la Chambre syndicale des Constructeurs de Gros Matériel électrique sont applicables.

101. Pour réunir dans un seul document les conditions pour la fourniture de tout le matériel entrant dans la construction d'un groupe électrogène, le projet de « Cahier des charges » suivant a été adopté :

Entre A.....

d'une part,

Et B.....

d'autre part,

Il a été convenu ce qui suit :

ARTICLE PREMIER. — OBJET DU MARCHÉ. — A... remet à B... qui accepte, commande pour une fourniture de..... groupe..... turbo-générateur..... aux conditions du présent marché.

ART. 2. — SPÉCIFICATION DE LA FOURNITURE. — La fourniture sera conforme aux caractéristiques, descriptions et spécifications limitatives figurant au devis n° ..... du ..... annexé au présent marché.

ART. 3. — GARANTIES TECHNIQUES. — A. *Puissance et consommation de vapeur. — Corrections d'essais.* — 1° Puissance. — En fonctionnant avec de la vapeur ayant à la soupape d'admission de la turbine une pression de..... kg : cm² effectifs et une température de ..... degrés centigrades et ..... saturation, d'une part;

un débit d'eau de condensation de ..... m³ à l'heure à la température de ..... degrés centigrades, sous pression manométrique d'élévation totale de ..... et aspiration manométrique de..... d'autre part;

le groupe, à la vitesse de ..... tours à la minute produisant du courant ..... à la tension de ..... et à la fréquence de ..... périodes par seconde, sera capable de fournir une puissance de régime de ..... kw aux bornes de la génératrice avec cos φ = ...

La marche à échappement à l'air libre pourra se faire à titre exceptionnel et pendant une courte période de temps à une puissance de régime égale à 50 pour 100 de la puissance ci-dessus.

2° Consommation horaire de vapeur sèche par kilowatt aux bornes. — La consommation du groupe, fonctionnant dans les conditions du paragraphe précédent avec cosinus = ... sera de :

..... kg pour une puissance de ..... kw, soit 100 pour 100 de la puissance de régime ;

..... kg pour une puissance de ..... kw, soit 80 pour 100 de la puissance de régime;

..... kg pour une puissance de ..... kw, soit 60 pour 100 de la puissance de régime;

..... kg pour une puissance de ..... kw, soit 40 pour 100 de la puissance de régime.

La garantie portera uniquement sur le chiffre indiqué pour 100 pour 100 ou pour 80 pour 100 de la puissance de régime.

Les autres chiffres sont donnés à titre simplement indicatif.

La fourniture est établie pour réaliser la consommation minimum à la charge de 80 pour 100, dite puissance économique.

3° Corrections d'essais. — Lorsque les conditions de fonctionnement spécifiées ci-dessus ne se trouveront pas rigoureusement réalisées lors des essais, les corrections suivantes seront appliquées aux chiffres de consommation constatés aux dits essais :

a) Pour une pression de vapeur s'écartant de la pression effective normale (charges 100 ou 80 pour 100.)

Correction pour pression en plus, ± 0.

Correction pour 5 pour 100 de pression en moins :

Pour pression de régime à 9, 12 et 15 kg : cm² — 1 pour 100;

Pour pression de régime de 6 kg : cm² — 1,2 pour 100.

b) Pour une température de vapeur s'écartant de 10 pour 100 en plus ou en moins de la normale :

Correction de plus 1 pour 100 par 8,5° C de température en plus ;

Correction de moins 1 pour 100 par 5,5° C de température en moins.

c) Pour une température d'eau de condensation s'écartant de 5°C, en plus ou en moins de la normale :

Eau à 15° C.

Correction de + 1,7 pour 100 par 5° en moins.

Correction de — 3,5 pour 100 par 5° en plus pour pressions de régime de 9, 12 et 15 kg : cm² effectifs.

Correction de — 4 pour 100 par 5° en plus pour pression de régime de 6 kg : cm² effectifs.

Eau à 27° C.

Correction de + 1,9 pour 100 par 5° en moins.

Correction de — 4 pour 100 par 5° en plus pour pressions de régime de 9, 12 et 15 kg : cm² effectifs.

Correction de — 5 pour 100 par 5° en plus pour pression de régime de 6 kg : cm².

4° Limites de variation de pression et température. — Le

Digitized by Google

groupe fournira, dans les limites suivantes, une puissance de régime dans de bonnes conditions de fonctionnement.

Pression : 20 pour 100 en plus ou en moins de la normale.

Température de vapeur : 10 pour 100 en plus ou en moins de la normale.

Eau de condensation : 5° C en plus de la normale.

Il reste entendu que la puissance de régime du groupe ne pourrait être garantie dans le cas où les limites de pression et de température de vapeur atteindraient simultanément les chiffres minima indiqués ci-dessus.

B. *Régulation.* — L'écart total de vitesse entre la marche à vide et la marche de régime ne dépassera pas 4 pour 100.

Pour des diminutions brusques de 20 - 40 - 50 - 80 - 100 pour 100, la vitesse n'augmentera pas de plus de 1,25 - 2,5 - 4 - 5 - 6 pour 100.

Pour des variations progressives de charge de 20 - 40 - 60 - 80 - 100 pour 100, la vitesse ne variera pas plus de 0,8 - 1,6 - 2,4 - 3,2 - 4 pour 100.

A charge, pression, température de vapeur et eau constantes, la vitesse ne variera pas plus de 0,5 pour 100, mais pourra être augmentée ou diminuée de 5 pour 100 au moyen d'un dispositif à main ou électrique.

Un régulateur de sûreté coupera l'admission de vapeur dans le cas où, par suite d'une avarie au régulateur ou tout autre cause fortuite, le nombre de tours normal serait dépassé de 7 à 10 pour 100. Ce dispositif est manœuvrable également à main.

C. *Partie électrique.* — D'une manière générale, le matériel électrique répondra aux prescriptions des conditions normales de fonctionnement et d'essai des alternateurs et de leurs excitatrices accouplés aux turbines à vapeur, de la Chambre syndicale des Constructeurs de Gros Matériel électrique, édition 1919.

En outre, à titre d'indication, l'élévation de tension au-dessus de la tension normale entre marche à pleine charge et marche à vide, à vitesse et excitation constantes, ne dépassera pas ..... pour 100 pour $\cos \varphi = 1$, et ..... pour 100 pour $\cos \varphi = 0.8$.

D. *Consommation d'huile et d'eau de réfrigération.* — A titre d'indication, la consommation horaire d'huile neuve de qualité appropriée sera d'environ ..... grammes.

La réfrigération d'huile se fera au moyen d'une quantité horaire d'eau d'environ .. .. litres ..... à ..... degrés, fournie par A... sous pression de ..... kg : cm².

ART. 4. — GARANTIES DE CONSTRUCTION ET DE FONCTIONNEMENT. — La fourniture devra être établie avec des matériaux de première qualité et construite selon les règles de l'art.

Son fonctionnement devra être satisfaisant à toute charge, à condition que les prescriptions d'entretien et de bonne conduite données par B... soient exactement observées et que les fondations et tuyauteries de raccordement extérieures au groupe fournies par A... soient établies dans de bonnes conditions sur les indications de B...

Le groupe étant supposé alimenté avec de la vapeur et de l'eau de condensation pratiquement pures et l'air de refroidissement de la dynamo pratiquement exempt de poussières, la fourniture sera garantie contre tout défaut de matière, vice de construction ou erreur de montage, pendant un an, à dater du jour de l'achèvement du montage dans le cas de la marche de jour ou de six mois en cas de marche de jour et de nuit. Au cas où l'expédition ou le montage seraient différés pour une cause quelconque indépendante du fait de B..., la garantie cesserait au plus tard un an après l'achèvement du matériel dans les ateliers de B...

Cette garantie qui ne peut s'étendre aux accidents ne provenant pas de vice de matière ou défaut de construction et de montage, aura pour effet la remise en état ou le remplacement, dans le plus bref délai possible, de toute pièce reconnue défectueuse, sans qu'il puisse être exigé aucune autre indemnité pour quelque cause que ce soit.

La réparation ou le remplacement des pièces pendant la période de garantie ne peut avoir pour objet de prolonger le délai de garantie du groupe, ni de déroger aux dates prévues pour le paiement.

B..... remplacera aussi à ses frais les pièces qui seraient détériorées en cours de montage du fait de ses monteurs, mais il est entendu qu'à partir de la livraison, les risques de toute nature du matériel et son entretien sont à la charge de A.....

Les pièces remplacées gratuitement restent toujours la propriété de B.....

ART. 5. — LIVRAISON, TRANSPORT, MONTAGE, MISE EN SERVICE. — *Date de livraison.* — Le matériel faisant l'objet du présent marché devra être prêt à expédition à la date du.....

B..... fournira en temps voulu à A....., les plans nécessaires aux fondations et tuyauteries du groupe, de manière que ces travaux puissent être exécutés en concordance avec le délai ci-dessus indiqué.

Transport. — Le transport en gare de..... est à la charge de A..... ainsi que le déchargement en gare et le transport de la gare à pied d'œuvre.

Douane et octroi. — Le prix ne comprend pas les frais d'octroi, ni les droits de douane.

Emballage. — Le prix s'entend pour matériel emballé, les emballages et fûts vides sont à retourner franco à B..... par les soins de A..... en bon état, complets.

Magasinage. — Dans le cas où l'expédition serait retardée sur la demande de A....., celui-ci serait tenu de payer, pour frais de magasinage et assurance 1 pour 100 de la valeur du matériel par mois ou fraction de mois.

Cette clause ne modifie aucunement l'époque fixée pour le paiement de la fourniture.

Montage. — Le montage, sur place, est à la charge de A....., B....., conservant la responsabilité de sa bonne exécution suivant garantie de l'article 4.

B..... mettra à la disposition de A..... un chef monteur dont le travail lui sera payé aux conditions du devis, soit au prix de 2,50 fr l'heure, non compris les frais de pension et de logement qui seront facturés en supplément.

Toute journée d'absence du monteur des ateliers de B..... est comptée comme journée normale de travail.

Les heures de nuit entre 19 heures et 6 heures, les heures de travail les dimanches et jours fériés, sont majorées de 50 pour 100.

Les frais de route et de voyage, aller et retour, en deuxième classe, du monteur, et les frais de transport de ses outils et de ses bagages sont facturés en sus.

Les travaux de maçonnerie, charpente, la fourniture et la pose des plaques de parquet, mains courantes, échelles de service, courroies et toutes les fournitures de même ordre, de menuiserie et de ferronnerie, l'aménagement des locaux, la fourniture des aides, ainsi que celle de tous les agrès et appareils de levage comprenant notamment : un pont-roulant de ... tonnes à manœuvre rapide, les divers accessoires nécessaires au montage tels que : échelles, cordes, chaînes, crics, tasseaux, matériel de graissage, pétrole, essence, chiffons, et conformément aux indications du chef-monteur, combustible, éclairage, et la surveillance des locaux sont à la charge de A.....

Digitized by Google

Un local fermant à clef sera mis par A..... à la disposition du chef-monteur pour y déposer son outillage et autre matériel de valeur.

Avant l'arrivée du chef-monteur, l'aménagement et la clôture des locaux devront être complètement terminés, les fondations prêtes et sèches et le matériel amené à pied d'œuvre sous pont roulant, de manière que le montage puisse être commencé immédiatement et poursuivi sans arrêt ni retard.

Le monteur devra pouvoir poursuivre son travail sans interruption et mettre l'installation en route dès achèvement du montage.

La durée du montage comprend un séjour du chef-monteur, pour l'instruction du personnel et la mise au point du matériel, de :

Quatre jours après mise en route par groupe de 1 500 kw et au-dessous ;

Huit jours après mise en route par groupe de puissance supérieure à 1 500 kw.

Si, pour une cause indépendante de la volonté de B..... le travail de montage devait être interrompu, ou si la mise en route ne pouvait avoir lieu dès l'achèvement du montage, le séjour supplémentaire du monteur ou son deuxième voyage seront à la charge de A..... même si le montage était traité à forfait.

Chacune des parties supportera la responsabilité des accidents du travail pouvant survenir à son personnel.

Mise en service. — Après achèvement du montage, et lorsque le matériel sera prêt à fonctionner, A..... procédera contradictoirement avec B..... à un examen de la fourniture ayant pour but de constater que tout le matériel prévu au devis a été fourni et installé et qu'il est prêt à entrer en fonctionnement.

B..... devra ensuite procéder à la mise en marche de ces appareils et donner au personnel de A..... toutes les indications nécessaires à leur conduite, surveillance et entretien.

La mise en service sera réputée faite après une marche de vingt-quatre heures, à la puissance maximum dont disposera A..... à ce moment, marche au cours de laquelle aucun incident anormal préjudiciable à l'exploitation n'aura été constaté.

B..... fournira, à l'achèvement du montage et à titre confidentiel, les tracés des pièces sujettes à usure. Ces tracés ne devront, en aucun cas, être communiqués à des tiers.

B..... fournira également une notice détaillée donnant toutes les indications et schémas nécessaires à la conduite et à l'entretien du groupe.

Art. 6. — Vérifications, essais. — Pendant la construction du groupe, les agents de A..... dûment qualifiés pourront être autorisés à constater l'état d'avancement de la fabrication, ce contrôle ne pouvant, en aucun cas, avoir pour effet d'atténuer la responsabilité de B..... qui demeurera pleine et entière jusqu'à l'expiration du délai de garantie.

La turbine sera essayée à sa vitesse normale, avant expédition, la partie électrique dans la mesure où le permettent les installations de la plate-forme d'essai de B..... Ces essais pourront être faits en présence des agents de A..... s'il fait connaître en temps voulu ses intentions à cet égard.

Après la mise en service du groupe, et au plus tard dans un délai de six semaines, il sera procédé à la demande de A..... en présence des représentants de A..... et de B..... à des essais contradictoires dont il sera dressé procès-verbal ayant pour but de constater le fonctionnement du matériel et de reconnaître s'il répond aux garanties.

Ces essais seront précédés, aux frais de A....., d'une visite des organes, des nettoyages éventuels, de manière à placer le matériel dans des conditions de fonctionnement absolument normales. Le résultat satisfaisant de ces essais impliquera la réception par A..... du matériel à dater du jour de la mise en service.

Les essais seront exécutés par ....

La durée des essais de consommation sera de quelques minutes de régime stable avec tuyère, deux heures avec mesure de l'eau condensée, huit heures avec mesure aux chaudières.

Les essais de la machine électrique seront exécutés suivant les méthodes décrites dans le règlement de la Chambre syndicale des Constructeurs de Gros Matériel électrique.

Les frais d'essais sont à la charge de A..... mais B..... fournira pour les essais le personnel et le matériel dont il disposera.

Au cas où il serait renoncé aux essais, ou si ceux-ci n'avaient pas lieu dans le délai prévu, la fourniture sera réputée conforme aux garanties et sa réception acquise d'office.

Art. 7. — Pénalités et primes. — *Consommation de vapeur.* — Dans le cas où les consommations de vapeur constatées aux essais seraient supérieures à celles garanties, il serait accordé les tolérances suivantes pour tenir compte des inexactitudes expérimentales suivantes :

1° lorsque les essais seront faits par la mesure de la vapeur condensée ou éventuellement par le moyen de tuyères calibrées :

3 pour 100 pour les groupes de puissance supérieure à 1 500 kw ;

4 pour 100 pour les groupes de puissance égale ou inférieure à 1 500 kw.

2° lorsque les essais seront faits en mesurant l'eau d'alimentation des chaudières :

5 pour 100 pour les groupes de puissance supérieure à 1 500 kw ;

6 pour 100 pour les groupes de puissance égale ou inférieure à 1 500 kw.

Au-delà des tolérances ci-dessus, B... sera passible par groupe turbo-générateur, dont la consommation aura été trouvée trop élevée, d'une pénalité de :

0,3 pour 100 de la valeur du groupe par chaque pour 100 de vapeur consommée en trop.

Les fractions de consommation inférieure à l'unité ne seront pas comptées.

Si l'excédent de consommation dépassait 10 pour 100, le groupe pourrait être refusé.

Réciproquement, au cas où les consommations auraient été trouvées inférieures à la garantie, B... aurait droit à des primes égales aux pénalités indiquées ci-dessus, en deçà des mêmes limites de tolérance.

Dans le cas où les parties auraient, d'un commun accord, renoncé aux essais, les pénalités ou primes indiquées ci-dessus se trouveraient supprimées de ce fait.

Retard de livraison. — En cas de retard dans la livraison, par rapport au délai inscrit au marché, il pourra être appliqué à B... pour chaque semaine entière de retard, à partir de la troisième semaine, 1/2 pour 100 (avec maximum de 10 pour 100 au total) de la valeur du matériel non encore livré.

Digitized by Google

Cette pénalité ne pourrait être appliquée que si le retard provenait du fait de B... et s'il avait causé à A... un préjudice réel et dûment constaté.

Elle ne pourra, d'autre part, être appliquée :

1° En cas de force majeure ou d'événements tels que : lock-out, grève, guerre, incendie, accidents d'outillage, rebut de pièce importante en cours de fabrication, interruption de transport, ou tout autre cause amenant un chômage total ou partiel pour B... ou ses fournisseurs.

2° Si les conditions de paiement ne sont pas exécutées conformément aux conventions.

3° Si tous les renseignements nécessaires à l'exécution de l'installation n'ont pas été fournis en temps utile.

4° S'il est reconnu qu'à la date fixée pour la livraison du matériel, les locaux ne sont pas aménagés pour le recevoir.

Retouches. — Dans le cas où le groupe ne répondrait pas aux garanties indiquées au présent contrat, et en particulier à celles relatives à la consommation de vapeur, B... aurait la faculté de modifier ou de remplacer le matériel ou la partie du matériel défectueux dans le plus bref délai, de manière à mettre la fourniture en état de satisfaire aux conditions du marché.

En dehors des pénalités indiquées ci-dessus, aucune indemnité ne peut être demandée à B... à titre de dommage, pour quelque cause que ce soit.

ART. 8. — PRIX ET PAIEMENTS. — Le prix global de la fourniture répondant aux conditions du présent marché, est fixé à ..... fr payables à..... net et sans escompte, par chèque, virements ou en papier à courte échéance (maximum 15 jours) sur place de banques françaises.

Les paiements auront lieu comme suit :

1/3 à la remise de la commande;

1/3 à l'achèvement du matériel dans nos ateliers au prorata de l'achèvement d'unités complètes;

1/3 trois mois après le deuxième paiement.

Dans le cas où l'acheteur mettrait son entreprise en vente ou liquidation, s'il en faisait cession, remise ou nantissement ou apport à une autre Société, et aussi faute de paiement aux échéances convenues, les sommes restant dues deviennent immédiatement exigibles. Dans ce cas, l'intérêt court de plein droit à compter du jour de l'exigibilité à raison de 6 pour 100 par an.

ART. 9. — CONTESTATIONS. — *Contrefaçon.* — Dans le cas où l'usage du matériel livré par le constructeur donnerait lieu à des actions et poursuites en contrefaçon, le constructeur s'engage à apporter tout son concours à l'acheteur pour la défense de ses intérêts et à supporter la totalité des frais de toute nature occasionnés par les procès.

En outre, il sera tenu de remplacer gratuitement le matériel dont l'usage serait interdit, par un matériel équivalent exempt de contrefaçon.

Mise en demeure. — Toutes les mises en demeure seront valablement signifiées par lettre recommandée.

Arbitrage. — En cas de contestations sur le présent Cahier des Charges, les deux parties s'engagent, avant de recourir aux Tribunaux, à le soumettre au jugement de trois arbitres.

Chacune des parties désignera un arbitre. Ces deux arbitres ainsi nommés choisiront un tiers arbitre.

Dans le cas où ils ne tomberaient pas d'accord sur le choix d'un tiers arbitre dans un délai de un mois, à partir de la notification de la demande d'arbitrage adressée par la partie la plus diligente à l'autre partie, celui-ci serait désigné à la requête de la partie de la plus diligente, par M. le Président du Tribunal..... de.....

Dans le cas où la sentence arbitrale ne pourrait être rendue, ou si l'une des parties refusait de s'y soumettre, le différend serait porté, de convention expresse, devant le Tribunal de.....

Droits. — Les droits fiscaux, doubles droits ou amendes éventuelles perçus à l'occasion des présentes, seraient à la charge de la partie qui aurait donné lieu à la perception de ces droits.

Les parties déclarent faire élection de domicile pour l'exécution des présentes, à..... pour A..... à..... pour B.....

Notes explicatives

PUISSANCES. — § 1-4. — On distingue la *puissance de régime* et la *puissance économique*.

La puissance de régime (normale) est la puissance indiquée sur la plaque signalétique; elle peut être fournie par la machine électrique d'une façon continue dans des conditions d'essais spécifiées. Lorsque ces conditions sont celles prescrites par les Règles de l'unification des machines électriques éditées par le Comité électrotechnique français (1), la puissance de régime correspond au maximum de puissance que la machine peut fournir sans crainte de détérioration pour les matières isolantes employées. Dans ce cas, la limite de la capacité de la machine est bien définie et la Chambre syndicale des Constructeurs de Gros Matériel électrique a adopté pour définir cette liste l'expression *puissance de régime*.

Dans l'exploitation, il n'y a guère de cas où les machines travaillent dans des conditions aussi constantes. Les machines fonctionnent à des conditions très variables et les règlements de l'Union des Syndicats de l'Electricité (édition 1911) et les spécifications particulières ont cherché à tenir compte de ce fait en définissant les machines par une puissance continue et des surcharges.

L'Union des Syndicats de l'Electricité prescrit :

1° Une puissance continue, vérifiée par un échauffement maximum.

2° Une surcharge de 20 pour 100 de 30 minutes jusqu'à une heure dépendant de la puissance de la machine.

3° Une surcharge de 30 pour 100 pendant 5 minutes.

Une spécification très appréciée par certains exploitants indiquait :

1° Une puissance continue donnant un échauffement maximum de 45° C.

2° Une surcharge de 25 pour 100 de 2 heures.

3° Une surcharge de 50 pour 100 de 30 minutes.

Après ces surcharges, l'échauffement ne devrait pas dépasser de plus de 55° la température ambiante.

Lorsque le produit des kilovolts-ampères par les tours par minute dépasse 10^7 la machine moderne à ventilation forcée de 1 500 à 3 000 t : min aura déjà atteint sa limite d'échauffement à 5 pour 100 près au bout d'une heure de marche. Les conditions prescrites dans les

(1) En élaboration.

Digitized by Google

spécifications ci-dessus ne peuvent donc pas être réalisées simultanément par une telle machine.

Une machine donnant 20 pour 100 de surcharge pendant une heure est une machine d'une puissance continue de 15 à 20 pour 100 supérieure à celle indiquée sur la plaque et une machine capable d'une surcharge de 25 pour 100 pendant 2 heures et de 50 pour 100 pendant 30 minutes est une machine pouvant donner continuellement une puissance supérieure de 30 à 35 pour 100 à celle indiquée sur la plaque sans que l'échauffement dépasse la limite ne portant pas atteinte à la solidité de l'isolant, étant bien entendu que la température de 55° C indiquée est compatible avec le genre d'isolant utilisé.

Si, au contraire, l'isolant diminue de valeur en le soumettant continuellement à cette température, c'est une grande erreur de la spécifier, même pour des surcharges de courte durée.

La Chambre syndicale des Constructeurs de Gros Matériel électrique estime qu'une marge de 25 pour 100 sur la puissance moyenne de marche tiendrait compte de toutes les surcharges qui peuvent se présenter en exploitation normale et elle a décidé de dimensionner les groupes électrogènes avec turbines à vapeur, de façon que la plus grande économie fût obtenue à cette puissance moyenne de marche qu'elle a appelée *puissance économique* et qu'elle a fixée à 80 pour 100 de la puissance de régime.

Les groupes sont ainsi définis par une puissance de régime indiquée sur la plaque signalétique donnant des échauffements maxima bien définis et une *puissance économique* correspondant à la puissance moyenne de marche susceptible de surcharges successives fréquentes ou mêmes continues de 25 pour 100.

L'économie du groupe est excellente en fixant ainsi le meilleur rendement à 80 pour 100 de la puissance maximum comme l'indique la courbe de consommation ci-dessous d'un groupe de 6 000 kw puissance de régime à 3 000 t: min.

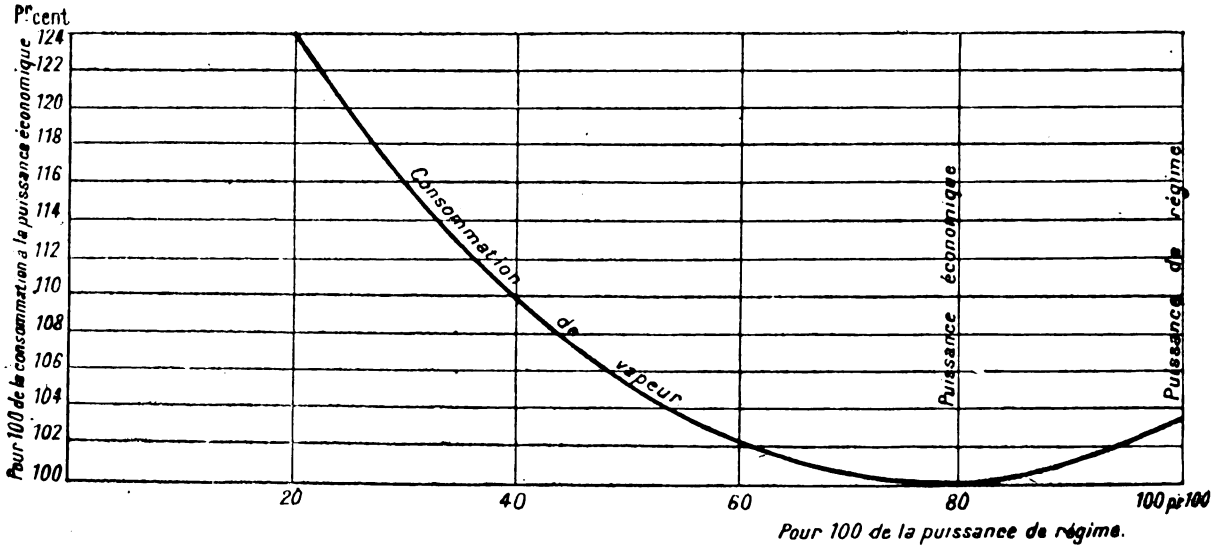


Fig. 4.

L'écart entre la consommation de vapeur à la puissance de régime et la puissance économique n'est que 3 pour 100 et, à 60 pour 100 de la puissance de régime, la consommation de vapeur ne dépasse que 2 pour 100 la consommation minimum.

Constantes de vapeur. — § 10-13. — La pression normale de vapeur a été fixée à 12 kg: cm² effectifs par centimètre carré et la température de surchauffe à 300° à la boîte de prise de vapeur de la turbine, le vide étant de 96 pour 100 de la pression barométrique à l'entrée du condenseur.

Ces conditions sont celles qui sont le plus habituellement employées, toutefois, pour tenir compte des pressions de vapeur admises pour des centrales déjà existantes ou des installations d'ensemble également existantes, on a admis que les turbines pourraient aussi être construites pour les constantes suivantes :

1° Pression de 15 kg: cm² avec surchauffe de 325°;
2° Pression de 9 kg : cm² avec surchauffe de 250° ;
3° Pression de 6 kg: cm² en vapeur saturée.

Dans ces trois derniers cas, le vide resterait de 96 pour 100 de la pression barométrique, à l'entrée du condenseur.

Constantes d'eau de condensation. — § 20. — On a admis que les températures d'eau de condensation seraient les suivantes :

10° C — 15° C — 20° C — 22° C — 27° C — 32° C

Les appareils de condensation seront dimensionnés

Digitized by Google

pour produire les vides du tableau ci-dessus, avec des quantités d'eau par kilogramme de vapeur.

Pour la marche économique.	52 litres, condensation par mélange,
	62 litres, condensation par surface,
Pour la marche de régime.	40 litres, condensation par mélange,
	55 litres, condensation par surface.

Les appareils de condensation sont établis pour la marche économique.

DIMENSIONS UNIFIÉES. — § 25-29. — Les dimensions unifiées ont été adoptées en vue de faciliter l'accouplement de machines provenant de divers constructeurs de machines électriques et de turbines. Pour cette raison, l'unification a été limitée aux dimensions concernant l'assemblage de la turbine et le générateur électrique.

Suivant que les constructeurs préfèrent exécuter les rotors avec arbre rigide ou flexible, deux diamètres ont été admis pour les alternateurs de 3000 t: min. Les diamètres et longueurs des deux fusées des alternateurs sont identiques.

PRESSION D'HUILE DE GRAISSAGE. — § 40. — La pression d'huile de graissage a été fixée à un chiffre tel qu'il est possible d'installer un graissage de secours par pression naturelle — 6 à 8 m — qui peut fournir l'huile nécessaire pour la mise en marche ou, jusqu'à l'arrêt du groupe, en cas d'avaries aux pompes de graissage.

MESURE DE LA CONSOMMATION DE VAPEUR. — § 41. — *Essai avec tuyère calibrée.* — Cet essai consiste en une ou plusieurs lectures de la pression et de la température à l'amont à l'endroit du col de la tuyère et à l'aval à la sortie de cette tuyère.

Ces mesures sont faites lorsqu'un régime stable est établi.

Au moyen de ces relevés, on calcule par une formule simple la consommation de vapeur.

Essai par pesage de l'eau de condensation. — Cet essai, d'une durée de 2 heures, s'effectuera en faisant déverser la pompe à eau condensée dans une ou plusieurs bâches graduées.

Essai par pesage de l'eau d'alimentation des chaudières. — Cet essai, qui peut plus spécialement se faire dans le cas de groupes fonctionnant à condensation par mélange, aura une durée de 8 heures.

Il consistera dans la mesure de l'eau d'alimentation envoyée aux chaudières au moyen d'un compteur placé sur le refoulement des pompes alimentaires et soigneusement étalonné avant l'essai.

On pourra également faire aspirer ces pompes dans des bacs jaugés au préalable.

GARANTIES. — § 50-56. — La garantie ne porte que sur un seul chiffre de consommation, soit à la puissance de régime, soit à la puissance économique.

La pénalité pour la consommation ne peut, en aucun cas, dédommager le client pour les écarts de consommation. Les frais annuels supplémentaires occasionnés au client par une augmentation de consommation de 1 pour 100 sont à peu près 2 à 3 pour 100 du prix du groupe.

Il est évident qu'aucune pénalité ne peut tenir compte de ces frais cumulés pendant des années d'exploitation. La garantie morale d'un constructeur sérieux doit suppléer à l'impossibilité dans laquelle se trouve un client de se couvrir par des pénalités. D'autre part, un constructeur offrant toute garantie à ce point de vue ne pourrait accepter le cumul des pénalités sur une série de chiffres dont un seul suffit à définir la qualité de la machine.

Les garanties de variation de vitesse sont compatibles avec une bonne régulation du réseau. Il ne dépasse guère 3 pour 100 pour les plus grandes variations brusques qu'on rencontre en exploitation normale.

Pour vérifier le fonctionnement du régulateur de sûreté, il est recommandé de faire fonctionner ce dispositif toutes les fois que le groupe doit être arrêté volontairement.

LIMITES DE VARIATION DES CONSTANTES DE VAPEUR ET EAU DE CONDENSATION. — § 57. — La puissance de régime n'est garantie que pour des variations simultanées dans les limites indiquées de deux des grandeurs envisagées, soit pression de la vapeur et température de l'eau de condensation, soit températures de la vapeur et de l'eau de condensation.

CORRECTIONS. — § 60-63. — Les corrections seront faites pour tout écart constaté par rapport aux conditions normales. Elles seront faites proportionnellement aux écarts constatés en faisant intervenir d'abord l'écart donnant la plus grande correction ensuite celui de deuxième importance et, en dernier lieu, celui donnant la plus petite correction.

TOLÉRANCES. — § 70-71. — La tolérance doit toujours être appliquée au chiffre obtenu après déduction de toute correction pour écarts dans les conditions de fonctionnement.

RÉPARTITION DE LA FOURNITURE ET DE LA RESPONSABILITÉ POUR L'EXÉCUTION. — § 80-81. — Ces conditions ont été adoptées pour unifier l'aspect et le mode de graissage des paliers, et, finalement, pour éviter toute discussion entre les fournisseurs au sujet de la responsabilité pour l'étanchéité des paliers.

Digitized by Google

Revues, analyses et informations

La fabrication des lampes électriques de poche en France.

Dans une note communiquée à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale M. L. Lindet, président de cette Société, donne sur l'industrie française des lampes de poche divers renseignements d'où nous extrayons les suivants :

« La fabrication de ces lampes de poche était, avant la guerre, presque exclusivement allemande et, là comme pour bien d'autres articles, nos industriels n'étaient pas parvenus à produire au même prix de revient. Celui-ci était, il est vrai, faussé par le *dumping* que nos ennemis maniaient avec si peu de scrupule ; mais il se trouvait aussi abaissé par le fait d'un travail, soumis peut être à une organisation plus rationnelle, en tout cas développé sur une échelle plus importante que partout ailleurs. La guerre nous privait de ces objets au moment même où nous en avions le plus besoin. La Suisse vint à notre aide et donna ainsi à la fabrication française le temps de se développer. Il ne semble pas exagéré de dire qu'aujourd'hui, pendant les mois d'hiver par exemple, notre industrie (spécialement l'industrie parisienne) fabrique, par journée de travail, environ 100 000 piles de lampes et 20 ou 25 000 étuis de toute sorte. Pendant les mois d'été, la fabrication baisse de deux tiers environ. Les établissements Paz et Silva, au cours de novembre, de décembre, janvier produisent, chaque jour, 20 000 piles et 4 ou 5 000 étuis ; trois ou quatre maisons importantes : la maison Meyer et Cie (piles Hydra), la Société Thomson-Houston (piles Mazda), etc., produisent également de fortes quantités de lampes ; plusieurs petites maisons font facilement le complément. »

Ayant eu l'occasion de visiter les ateliers de M. Paz et Silva M. Lindet indique comme il suit les grandes lignes des procédés de fabrication qui y sont utilisés :

« Le vase de zinc qui doit former le pôle négatif de la pile est fait d'une feuille de zinc que l'on roule et d'une rondelle de même métal que l'on soude. Le charbon positif est bloqué dans un mélange de bioxyde de manganèse et de graphite ou plombagine que l'on agglomère sur place par compression et dont on fait un cylindre, qui a le charbon pour axe ; on entoure le cylindre d'une gaze que l'on ficelle, de façon à maintenir l'aggloméré et à l'isoler du zinc. Le positif est introduit dans le négatif, c'est-à-dire le cylindre de charbon et de bioxyde de manganèse dans le vase de zinc, et l'on coule dans l'espace annulaire l'électrolyte, c'est-à-dire le mélange, préparé d'avance, sous forme d'une pâte liquide à base de sel ammoniac, farine, etc.,.. Ce mélange, après un traitement spécial, devient assez pâteux pour qu'il puisse être considéré comme solidifié et comme ne risquant pas de s'écouler si la pile vient à être renversée. On enfonce à force sur la tête du charbon une capsule de cuivre, et chaque pile devant, en général, être composée de trois éléments, réunis en *série*, on soude sur chacun d'eux les connexions appropriées, lames de cuivre, fils de cuivre étamé. Les éléments, isolés les uns des autres, sont placés dans une boîte ovale de carton. On soude les connexions pour relier les éléments entre eux. On contrôle la tension et l'intensité de chaque élément. On cale les éléments avec de la sciure de bois et on verse à la partie supérieure une préparation à la résine que l'on égalise au moyen d'un jet de gaz. Après un nouveau contrôle électrique, la pile est recouverte de sa bande de garantie et de son étiquette. Les piles donnent 1,5 v par élément ; elles se composent de deux ou trois éléments ; la tension d'une pile de composition déterminée est constante quelle que soit la dimension de la pile. Les piles fournissent de 4 à 5 A. Elles se polarisent et s'usent très vite quand on les laisse constamment allumées ; elles se dépolarisent au contraire par le repos. »

Notes pratiques

Comment on travaille l'aluminium.

Il importe, dans l'intérêt national, de développer la substitution de l'aluminium, produit en France avec les bauxites de la Provence et avec les ressources hydroélectriques des Alpes et des Pyrénées, au cuivre, métal qui nous vient de l'étranger et pour l'achat duquel il nous faut sortir de l'or. Aussi ne saurait-on faire trop d'efforts pour que les électriciens effectuent cette substitution toutes les fois qu'elle est techniquement possible. Pour cette raison, il nous paraît utile de donner ci-dessous quelques conseils pratiques, émanant d'industriels utilisant l'aluminium et concernant l'usinage de l'aluminium et de ses alliages.

Décolletage. Travail au tour. — L'alliage à 3 pour 100 de cuivre se travaille aussi facilement que les autres métaux. Pour l'aluminium pur, on obtiendra un excellent résultat en arrosant l'outil à décolleter avec du pétrole.

Emboutissage. Repoussage. — Rien de spécial à signaler, si ce n'est que l'emboutissage et le repoussage de l'aluminium se font beaucoup plus facilement que celui de tous les autres métaux. Suivant la nature des pièces que l'on aura à faire, il pourra être nécessaire, dans certains cas, de prévoir le recuit du métal entre différentes passes.

Il est bon alors d'avoir des installations spéciales de fours pour recuire ces pièces ; autant que possible, il faut les recuire en vase clos et ne pas les mettre directement en contact avec les flammes ou les gaz du foyer.

Pour tous ces travaux, on emploie en général du métal recuit ou demi-dur.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Importations et exportations françaises

A partir du numéro du 9 juin 1917 de la « Revue générale de l'Electricité », nous avions dû interrompre la reproduction des statistiques officielles françaises relatives au matériel électrique dans ses rapports avec l'extérieur. Car le gouvernement français avait décidé, pour des raisons d'intérêt supérieur national, de suspendre jusqu'à nouvel ordre toute publication relative à notre commerce extérieur d'échanges, etc., pour statistique, commençant le 1er janvier 1917. Les circonstances internationales ayant changé depuis le 11 novembre 1918, les publications statistiques officielles françaises ont reparu et nous pouvons reproduire ci-dessous les chiffres correspondant aux onze premiers mois des années 1916 à 1918 inclusivement.

FRANCE. — Matériel électrique.

CHIFFRES OFFICIELS DU COMMERCE SPÉCIAL POUR LES ANNÉES 1916, 1917 ET 1918

PAGES DES DOCUMENTS OFFICIELS		DÉSIGNATIONS	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES			VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS		
			1918	1917	1916	1918	1917	1916
86	IMPORTATIONS	I. Machines dynamo-électriques — pesant 1 000 kg et plus	24 542	23 790	31 084	12 271	11 895	13 988
		— 50 kg et moins de 1 000 kg.	7 216	14 361	21 637	3 608	7 181	9 737
		— moins de 50 kg	784	1 023	1 319	627	818	1 055
		II. Appareils électriques et électrotechniques avec enroulement de fil métal. isolé.	5 338	8 272	6 161	15 213	23 575	14 170
		sans enroulement	3 438	3 506	3 042	5 845	5 960	3 042
87		III. Bâtis et carcasses de dynamos et de moteurs électriques.	1 456	5 633	3 883	218	845	582
72		IV. Lampes électriques à incandescence à filament de charbon avec monture	17	143	78	43	358	101
		à filament métallique, Id.	642	1 262	1 153	2 568	5 048	2 767
		sans monture	10	15	1	50	75	3
87		V. Lampes à arc et pièces détachées en fer ou en acier	74	27	10	74	27	10
69		VI. Charbons préparés pour l'éclairage électrique	6 465	6 101	7 326	3 879	3 661	4 396
87		VII. Fils et câbles isolés pour l'électricité	20 508	51 309	8 598	24 610	61 571	10 318
		VIII. Induits de machines dynamo-électriques et pièces détachées pour appareils électriques	4 009	4 677	4 843	5 613	6 548	6 780
		IX. Aimants autres que les électro-aimants	18	11	63	9	6	19
90		X. Accumulateurs et pièces détachées	4 376	312	1 559	1 313	94	390
		XI. Piles sèches	331	727	1 791	132	291	716
72		XII. Pièces pour l'électricité en porcelaine, faïence, grès, isolateurs et autres	1 895	2 207	2 949	536	625	796
		Pièces pour l'électricité en verre			3			1
			81 119	123 376	95 500	76 609	124 578	68 861
149	EXPORTATIONS	I. Machines dynamo-électriques et transformateurs	3 839	5 625	3 191	1 920	2 813	1 436
		II. Appareils électriques et électrotechniques	4 326	10 568	10 005	6 922	16 909	12 806
150		III. Bâtis et carcasses de dynamos et de moteurs électriques.	81	248	15	12	37	2
134		IV. Lampes à incandescence	838	890	976	2 011	2 136	1 405
150		V. Lampes à arc et pièces détachées en fer et en acier	9	41	83	7	31	59
131		VI. Charbons préparés pour l'électricité et pour autres usages industriels	36 471	37 413	45 209	19 694	20 203	24 413
150		VII. Fils et câbles isolés pour l'électricité	1 607	3 303	6 564	362	743	1 477
		VIII. Induits de machines dynamo-électriques et pièces pour appareils électriques	869	3 603	2 181	1 095	4 540	2 748
		IX. Aimants autres que les électro-aimants	42	39	40	21	20	12
152		X. Accumulateurs électriques et pièces détachées	6 408	2 835	3 915	1 634	723	830
		XI. Piles sèches	364	805	271	116	258	87
133		XII. Pièces pour l'électricité en porcelaine, faïence, grès blanc ou de couleur, isolateurs et autres	4 154	4 485	3 115	822	888	589
134		Pièces pour l'électricité en verre	257	259	445	60	69	72
			59 265	70 114	76 010	34 676	49 361	45 936

Digitized by Google

Nous avons omis avec intention de faire figurer dans les tableaux ci-dessus la statistique d'objets ne concernant pas exclusivement l'électricité, tels que :

Les compteurs de tours et les compteurs électriques qui sont confondus dans la même rubrique avec les compteurs d'eau, de gaz, etc.

Les ventilateurs électriques qui comprennent sous le même alinéa statistique des ventilateurs pourvus d'autres genres de propulsion.

Les embarcations à moteurs électriques qui voisinent sur la même ligne avec les embarcations à moteurs à explosion.

L'examen des tableaux ci-dessus permet de formuler les observations suivantes :

I. — **Sur les importations étrangères en France livrées à la consommation.** — L'ensemble de ces statistiques a démontré que, pendant les onze premiers mois de 1916, 1917 et 1918, il a été importé en matériel électrique un excédent considérable de poids sur les années 1914 et 1915. Ainsi les chiffres des onze mois de 1917 ont dépassé de 76149 quintaux métriques ceux des douze mois de 1914 et de 77481 ceux de 1915; les chiffres de onze mois de 1918 ont dépassé de 33892 quintaux métriques ceux des douze mois de 1914 et de 35224 ceux de 1915.

Ces augmentations des dernières années ont porté surtout sur :

Les fils et câbles isolés. — Leur importation des années entières, 1914 et 1915, avait été respectivement de 1346 et 3707 quintaux métriques. Elle était passée pour les onze mois de 1916, 1917 et 1918 à 8598, 51309 et 20508 respectivement. Cette augmentation doit être attribuée aux nécessités urgentes de la guerre pour le service télégraphique et téléphonique du front, des tranchées, etc.

Les dynamos de 1 000 kg et au-dessus. — Pendant les années entières 1914 et 1915, la France avait reçu 16276 et 10934 quintaux contre, pour les onze premiers mois de 1916, 1917 et 1918, 31084, 23799 et 24542 quintaux.

Charbons préparés. — Les importations des onze premiers mois de 1917 et 1918 ont été de 3000 quintaux supérieurs à celles des années 1914 et 1915.

Par contre, les *pièces en porcelaine, faïence, grès et isolateurs* ont diminué à l'importation de plus de la moitié de leur poids sur 1914. Cette diminution provient évidemment du fait de la rupture des relations économiques avec l'Allemagne et la Bohême, principaux fournisseurs de ces articles avant-guerre.

II. — **Sur les exportations de matériel électrique français ou francisé.** — Si nous comparons l'ensemble des chiffres en poids, nous constatons que l'exportation des onze mois de 1917 et 1918 a été inférieure à celle de 1914 de 37000 et 48000 quintaux respectivement. Mais, par contre, elle a été supérieure pour les mêmes périodes, de 23000 et 12000 quintaux à l'exportation de 1915.

Nous donnons ci-dessous quelques détails relatifs à ces oscillations en poids de l'exportation de matériel électrique français.

Les *dynamos* et *transformateurs* ont été en 1917 et 1918 en décroissance de 5900 et 7700 quintaux sur 1914.

Les *appareils électriques* ont manifesté en 1918 une diminution de 6200 quintaux sur 1917.

Il y a eu en 1916 une faible augmentation sur 1914 de l'exportation des *bâtis* et *carcasses*.

En 1917-1918, la vente à l'extérieur de *lampes à incandescence* a diminué d'environ 150 à 200 quintaux par an.

La diminution de l'exportation des *lampes à arc* a été plus grande encore, puisque de 335 quintaux en 1914, elle est tombée à 9 en 1918.

On peut noter sur les *charbons préparés*, en 1917-1918, une diminution d'environ 10000 quintaux sur 1914 et 1916.

L'exportation des *fils et câbles isolés* s'est restreinte d'une façon très sensible, puisque de 1914, où elle était de 23716 quintaux, elle est tombée en 1916 à 6564, en 1917 à 3303 et en 1918 à 1607. On peut attribuer cette décroissance aux besoins urgents des services militaires de télégraphie et téléphonie de campagne (états-majors, tranchées, etc.), durant la guerre qui s'achève ; ceux-ci ont dû faire pour ce même article un appel important à l'industrie de nos alliés Américains et Anglais.

La cession à des alliés de nos *induits* et *pièces accessoires* s'est fortement ralentie, puisque de 4965 quintaux en 1914, elle est tombée à 869 en 1918.

Les *aimants* ont dénoté un faible mouvement, comme les années précédentes.

Par contre, l'exportation des *accumulateurs* et *pièces détachées* a dépassé de 3500 quintaux celle de 1917 et même de plus de 2000 celle de 1914, qui avait été pourtant une année à peu près normale.

Comme toujours nos *piles sèches* n'ont pas intéressé les acheteurs de l'extérieur.

Pour ce qui est des *pièces en porcelaine, faïence, grès* et *isolateurs*, quoique leur exportation n'égale pas celle de 1915, elle a tendu en 1917-1918 à s'en rapprocher, la fabrication française de ces articles s'étant sensiblement améliorée depuis la guerre.

Quant à l'exportation des *pièces en verre*, elle a diminué sensiblement.

Si dans les lignes précédentes, nous n'avons fait mention que du *poids* du matériel électrique, en laissant de côté sa *valeur* du moment, c'est à raison des prix exagérés qu'il a atteints (et qui bientôt baisseront, nous l'espérons), par suite de la raréfaction aux époques indiquées de la matière première, de la main-d'œuvre et des moyens de transport. C'est le même motif, auquel sont venus s'ajouter les nécessités de l'armée française, qui a causé l'augmentation considérable de l'importation des articles électriques étrangers, au détriment de l'exportation de l'industrie française.

Désiré PECTOR,
Conseiller honoraire du Commerce extérieur.

Digitized by Google

Assemblées générales

Société des Forces motrices de la Vienne.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE EXTRAORDINAIRE DU 28 FÉVRIER 1919.

Le 21 octobre 1918 une augmentation de capital avait été décidée par les actionnaires réunis en assemblée générale extraordinaire et par les assemblées spéciales des porteurs d'actions ordinaires et privilégiées (voir *R. G. E.* du 21 décembre 1918, t. IV, p. 979.

Les démarches nécessaires ont été faites pour obtenir l'autorisation qui a été accordée.

La souscription des 8 000 actions nouvelles de 250 fr et le versement du premier quart sont constatés par une déclaration faite par le Conseil d'administration suivant acte reçu par Me Desplanques, notaire à Paris.

Les dits versements représentant le premier quart, soit 62,50 fr par titre, s'élèvent à 500 000 fr, somme actuellement déposée à la Banque française pour le Commerce et l'Industrie.

Les résolutions qui suivent sont adoptées :

1° L'assemblée générale après vérification reconnaît sincère et véritable la déclaration de la souscription des 8 000 actions privilégiées nouvelles de 250 fr représentant l'augmentation de capital de 2 000 000 fr autorisée par l'assemblée générale extraordinaire du 21 octobre 1918 et du versement de la somme de 62,50 fr sur chacune de ces actions, cette somme représentant le premier quart du capital nominal de l'action. En conséquence, le capital social est porté à 6 000 000 fr.

2° Les modifications suivantes sont apportées à l'article 7 des statuts.

Les premiers alinéas de cet article jusqu'au sous-titre « Parts de fondateurs » sont modifiés et remplacés par les dispositions suivantes :

« Le capital social est fixé à la somme de 6 000 000 fr.

» Il est divisé en vingt-quatre mille actions de deux cent cinquante francs chacune.

» Sur ces actions :

» 1° 2 400, portant les nos 1 à 2 400, sont des actions dites ordinaires (ou de deuxième rang) entièrement libérées, attribuées à la constitution de la Société à MM. de Marchena, Massiot et Raison, ainsi qu'il est dit ci-dessus;

» 2° 8 000, portant les nos 2 401 à 10 400, sont des actions dites privilégiées, émises contre espèces à la constitution de la Société.

» Pendant un délai de deux ans, après leur création, les actions privilégiées ci-dessus ont eu droit à un intérêt intercalaire de 5 pour 100 du montant des sommes dont elles se trouvaient libérées;

» 3° 5 600 portant les nos 10 401 à 16 000 sont des actions dites privilégiées émises contre espèces, formant la première augmentation de capital résultant des délibérations des Assemblées générales extraordinaires des 28 avril et 24 juillet 1917;

» 4° et 8 000 portant les nos 16 0001 à 24 000, sont des actions dites privilégiées émises contre espèces, formant la deuxième augmentation de capital résultant des délibérations des Assemblées générales extraordinaires des 21 octobre 1918 et 28 février 1919. »

Les autres alinéas de l'article 7 à partir du sous-titre « Parts de fondateur » restent sans changement.

3° Pour déposer et faire publier les présentes partout où besoin sera, tous pouvoirs sont donnés au porteur d'une expédition ou d'un extrait.

Revues, analyses et informations

L'organisation du crédit à l'exportation par le Groupement économique des Industriels français de Saint-Etienne.

On s'est souvent plaint que nos banques ne favorisaient pas le commerce d'exportation alors que les banques allemandes non seulement accordaient à leur clientèle commerçant avec l'étranger un escompte à long terme, mais encore lui garantissaient le paiement des effets escomptés. Le Groupement économique des Industriels de Saint-Etienne, qui, dès sa création, s'est préoccupé de ce problème, vient de lui trouver une solution grâce à la collaboration d'une banque locale qui a bien voulu assumer tous les risques de non paiement des livraisons faites à l'étranger sur sa recommandation.

L'organisation adoptée, qui, pour le début, s'étend à la Suisse, l'Espagne et l'Italie, est la suivante.

Un des adhérents qui désire exporter dans ces pays et se décharger des risques de paiement devra procéder comme suit :

1° *Il reçoit une demande de prix d'un des pays ci-dessus.* — Par poste ou télégramme, suivant l'urgence, il interroge la banque qui lui sera désignée par le Groupement, afin de connaître la cote attribuée au client éventuel.

La banque répond par un chiffre qui peut varier de 1 à 2 pour 100 pour les crédits de premier ordre à 2, 3, 4, 5 pour 100 et plus pour les crédits moyens ou douteux. Ce chiffre représente le coût de la garantie demandée à la banque. L'adhérent majore ses prix de revient du montant de ce chiffre et fait son offre au demandeur étranger.

2° *Il reçoit la commande.* — Il exécute la commande sans se préoccuper du crédit. Dès qu'elle est prête à être expédiée, il fait dresser un certificat de conformité par un des

Digitized by Google

experts qui lui est désigné parmi ceux qui ont été présentés au Groupement par le président du Tribunal de commerce. Ce certificat a pour but de garantir la banque contre tous défauts de conformité dans l'exécution de la commande.

3° *Il expédie la commande.* — Il établit la facture et la traite, lui joint les documents d'expéditions, le certificat de conformité et remet le tout à la banque qui lui paye comptant le montant de la traite, diminué de l'escompte habituel s'il y a lieu et de la cote attribuée au client.

Ce paiement a lieu sans aucun recours contre l'industriel en cas de non-paiement par le client. La traite est donc achetée ferme par la banque, au même titre qu'une marchandise.

L'industrie électrique en Belgique.

D'un rapport au ministère de l'Industrie et du Travail de Belgique, nous détachons les passages suivants qui indiquent comment s'est développée l'industrie électrique belge, les résultats atteints et les possibilités de développement ultérieurs.

La branche des dynamos et accessoires est, sans contredit, la plus considérable de l'industrie électrique. Ainsi, pour l'année 1906, la quantité de machines-dynamos jetées sur le marché par l'ensemble de nos établissements a été de 4 400 environ, développant une puissance globale de 92 000 kw ou 123 000 ch. Cette même année avait vu sortir de nos ateliers près de 700 équipements complets pour voitures automotrices, représentant une puissance de 19 000 à 20 000 ch. L'exportation de ce gros matériel intervenait pour une somme assez importante dans le chiffre d'affaires. Les ventes à l'étranger représentaient, en effet, plus de 27 pour 100 du montant total. Des fournitures importantes d'appareils pour éclairage, traction, force motrice se faisaient couramment dans les pays suivants : Angleterre, France, Hollande, Grand-Duché de Luxembourg, Russie, Suisse, Italie, Espagne, Portugal, Serbie, Roumanie, Turquie d'Asie, Egypte, Transvaal, Japon, Brésil, République Argentine. Bien des pays exotiques n'ont pas encore été exploités que nos producteurs, imitant leurs concurrents, se décident à y organiser, sur des bases convenables, des agences capables de traiter ce genre d'affaires directement, et ils ne tarderont pas à voir les résultats.

Le nombre des appareils téléphoniques de tout genre qui, chaque année, sortaient de nos manufactures, était considérable. On peut estimer à 210 000 la quantité de téléphones et de microphones fabriqués annuellement et à 105 000 le nombre de postes téléphoniques de tout genre avec tous leurs accessoires.

Les neuf-dixièmes de cette production étaient destinés à l'étranger.

La fabrication des fils et des câbles isolés, stationnaire pendant un certain temps, se développait depuis quelques années ; on pouvait se procurer, en Belgique, tous les fils et câbles isolés destinés aux usages courants.

La fabrication des accumulateurs électriques n'occupait pas un grand nombre d'ouvriers, d'ailleurs cette fabrication n'exigeait pas une main-d'œuvre bien considérable. Le développement de la construction des automobiles et des motocycles avait amené les constructeurs à fabriquer également les petits accumulateurs pour l'allumage des moteurs.

Le petit matériel et les instruments de précision étaient aussi fabriqués et écoulés en Belgique, mais ils avaient fort à lutter contre la concurrence des produits étrangers.

Plusieurs systèmes de lampes à arc, très rationnellement conçus, sont dus à l'invention d'électriciens belges.

La fabrication des crayons pour foyers à arc existait depuis quelques années, de même que celle des lampes à incandescence. Les lampes à filament cellulosique ont trouvé un débouché par la fabrication des appareils de chauffage par rayonnement lumineux. Quant aux lampes à filaments métalliques, c'est une branche de l'industrie qui devrait être plus développée en notre pays et qui mérite de retenir l'attention des industriels.

Malgré la longue et pénible période de début traversée par notre industrie électrique, la fabrication du matériel de toute espèce a toujours été remarquable. Pour l'année 1907, on peut estimer la valeur globale des fabricats à la somme de 25 000 000 fr. L'exportation figurait dans ce chiffre pour environ 10 400 000 fr, ce qui représente près de 42 pour 100 de la quantité totale.

Pour terminer ce chapitre, nous montrerons, en donnant un exemple, à quel point le développement des industries de l'électricité pourrait amener aussi le développement de nouvelles industries. Ainsi, les isoloirs figurent au premier rang parmi les accessoires. C'est un produit d'invention très récente : la galalithe, qui convient le mieux pour la fabrication des isoloirs. C'est un corps fort mauvais conducteur de la chaleur et de l'électricité. Ce produit l'emporte sur l'ébonite au point de vue de la solidité. Sa texture, d'une homogénéité parfaite, rappelle beaucoup celle de la corne. La galalithe se façonne d'ailleurs aussi facilement que cette dernière substance, et à cet égard, elle possède une qualité qui a son importance, elle use très peu les outils tranchants avec lesquels on la travaille. C'est une substance qui ne dégage aucune odeur. Elle a une densité de 1,35 et un degré de dureté représenté par 2,5. Elle supporte une température de 200° C avant de commencer à se décomposer. Chauffée à 150° dans un bain d'huile ou de paraffine, elle se laisse alors facilement plier, courber, façonner à volonté, on peut donc mouler des objets en cette matière. Elle est susceptible de prendre un poli durable et peut être colorée à volonté, elle peut même prendre l'aspect du marbre, de l'agate, etc.

La matière première qui sert de base à la fabrication n'est autre que la caséine contenue dans le lait écrémé et traitée par un procédé bien simple. Evidemment, ce n'est pas quand la livre de fromage coûte 9 fr que l'on pourrait dire que le prix de revient de ce produit serait minime, mais, en temps ordinaire, la caséine est d'un prix peu élevé, il en serait de même de la galalithe. Or, non seulement avec ce produit on pourrait fabriquer des isoloirs pour l'électricité, mais aussi combien d'autres articles, d'innombrables petits objets de luxe, des manches de couteaux, des boutons de vêtements, etc. Ceci n'est qu'un exemple des nombreuses industries connexes qui pourraient être implantées en notre pays par le développement des industries de l'électricité.

Digitized by Google

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Sur le projet de loi portant modification des articles 419 et 420 du Code pénal.

La nécessité de la création d'ententes entre producteurs à conduit à demander la modification des articles 419 et 420 du Code pénal qui, rédigés en 1810 pour punir l'accaparement des marchandises et denrées, constituent un obstacle à cette création tout en n'empêchant pas les spéculations coupables. Nous avons déjà fait connaître dans cette Revue l'opinion de l'Association nationale d'Expansion économique ainsi que celle de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale (1). Nous donnons ci-dessous celles de la Chambre de Commerce de Paris qui, dans sa séance du 26 février 1919, a adopté et converti en délibération le rapport suivant présenté par M. Pascalis au nom de la Commission de Législation commerciale et industrielle de la Chambre (2).

Les articles 419 et 420 du Code pénal ont beaucoup fait parler d'eux depuis quelques années, et notre Compagnie a dû, à plusieurs reprises, s'en occuper. Introduits dans le Code à sa naissance, à la suite d'années de disette dont le peuple avait cruellement souffert, et au cours desquelles la rareté des denrées alimentaires avait pu, à tort ou à raison, être attribuée à certaines spéculations coupables, ces articles avaient survécu aux circonstances qui les avaient fait naître. Aussi, la magistrature, reculant sagement devant des interprétations trop larges, avait pris le parti de ne les appliquer presque jamais, et une jurisprudence avait fini par s'instituer qui faisait succéder aux dangers d'une sévérité excessive les inconvénients d'une indulgence parfois regrettable. C'est ainsi que trop souvent les lois de circonstance deviennent nuisibles et inapplicables.

L'article 419 vise le fait d'opérer la hausse ou la baisse de denrées ou de marchandises soit par réunion ou coalition entre vendeurs, soit par des voies ou moyens frauduleux quelconques. On voit qu'il vise ainsi un double délit : accaparement, coalition.

Nous avons montré en 1912, au moment où divers législateurs s'efforçaient de modifier l'article 419 de manière à le rendre plus rigoureux pour la répression de l'accaparement, que ce dernier délit était à peu près impossible à définir. C'est en vain que, plus tard, dans la loi du 20 avril 1916, le Gouvernement, à son tour, a voulu le faire en instituant « la spéculation illicite, c'est-à-dire non justifiée par les besoins des approvisionnements ou de légitimes prévisions industrielles et commerciales ». Cette nouvelle accumulation de mots est, tout autant que le texte de l'article 419, inopérante contre les vrais coupables, et présente, par contre, le danger redoutable de livrer les commerçants honnêtes à l'appréciation arbitraire des magistrats.

Aussi est-ce au nom de ces commerçants que nous protestions il y a sept ans, quand le Parlement voulait aggraver le texte de l'article 419 par des définitions qui le rendraient plus difficilement applicable encore, et demandions de préférence le maintien de ce texte, si défectueux fut-il, que la jurisprudence avait amendé.

Cinq ans plus tard, et dans un autre ordre d'idées, c'est nous qui demandions la modification de l'article 419. Et en cela nous ne faisions que nous joindre à un mouvement irrésistible qui entraînait les groupements commerciaux et industriels, nombre de députés, et M. le Ministre du Commerce lui-même. Il s'agissait, nous vous le rappelons, de rendre aux industriels, dans l'intérêt du renforcement de la production nationale et de l'expansion du pays, la possibilité de s'unir par des ententes soit momentanées, soit plutôt permanentes, sans encourir les foudres de l'article 419, devenu, en ces dernières années, plus menaçantes à la suite de certains arrêts de la Cour de Cassation qui avaient modifié du tout au tout la jurisprudence indulgente dont nous avons parlé plus haut. Jusqu'à ces dernières semaines, nous attendions de M. le Ministre du Commerce le dépôt d'un texte modifiant l'article 419 pour en faire disparaître le délit de coalition. Rappelons, c'est essentiel, que la Chambre de Commerce avait tenu à laisser subsister dans cet article tout ce qui s'appliquait uniquement aux spéculations dangereuses pour l'ordre public.

C'est dire qu'aujourd'hui, si nous ne considérons pas sans émotion la menace que comporte la loi votée le 7 courant par la Chambre des Députés, et qui va être présentée au Sénat avec « extrême urgence », c'est dans le même ordre d'idées et pour la seule sécurité du commerce loyal et honnête. Il s'agit, nous dit-on, de combattre la hausse formidable des denrées, de poursuivre ceux qu'on appelle les mercantis. Ce genre de commerçants ne mérite pas d'être défendu, et s'ils étaient seuls menacés, nous nous garderions d'intervenir. Mais il ne faut pas s'y méprendre, toutes les transactions tombent sous le coup de la loi et nous craignons qu'en aggravant l'article 419, on le rende plus inapplicable encore. Nous savons bien que les circonstances sont exceptionnelles, et que la situation créée par la cherté croissante de la vie est des plus dangereuses. Mais il n'est pas douteux, et le mouvement se dessine avant même le vote de la loi proposée, que le commerce honnête va s'abstenir, laissant le champ libre à ceux-là mêmes que l'on veut atteindre. En présence de l'augmentation du risque, la marchandise va se raréfier davantage, et la hausse qu'on cherche à combattre s'accentuera.

Voyons donc quelles armes le Gouvernement avait en mains et quel renforcement de ces armes il demande : il avait l'article 419, bien qu'il regrettât lui-même la partie

(1) Sur la nécessité de modifier les articles 419 et 420 du Code pénal. *R. G. E.*, 23 juin 1917, t. I, p. 999-1000.

(2) PASCALIS ; Projet de loi portant modification des articles 419-420 du Code pénal et abrogation de l'article 10 de la loi du 20 avril 1916. *Bulletin de la Chambre de Commerce de Paris*, 8 mars 1919, p. 255-259.

Digitized by Google

de cet article relative à la coalition, partie qui, d'un accord unanime, allait être modifiée pour permettre les ententes utiles et salutaires. En ce qui touche la spéculation, l'article, il est vrai, rédigé en termes un peu obscurs, est d'une application difficile. Mais sur ce point, le Gouvernement a aussi à sa disposition la loi du 20 avril 1916 où est introduite une définition de la spéculation illicite dont nous avons parlé plus haut.

Ce texte, certes, nous l'avons indiqué, n'est pas sans danger, étant bien large et manquant de précision. Mais il permet toutes les répressions, puisque les tribunaux l'appliquent tous les jours et il a, du moins, cette précieuse qualité d'être institué pour la durée de la guerre, ce qui explique que nous n'y ayons fait en 1916 aucune objection. Quel besoin avait-on d'incorporer l'article 10 de la loi de 1916 à l'article 419 du Code pénal et d'en faire un nouvel article 419 qui aura le suprême inconvénient d'être définitivement installé dans le Code pénal, alors que la loi d'avril 1916, loi de circonstance, devait disparaître avec les circonstances dont elle était née.

Nous ne voyons à cette initiative gouvernementale qu'une explication : c'est qu'on a voulu donner une satisfaction à l'opinion publique; mais ce sentiment fort compréhensible ne peut légitimer des retouches du Code susceptibles d'entraîner de graves conséquences.

Messieurs, si les lois de circonstance sont presque toujours déplorables, c'est parce qu'elles sont trop souvent définitives; sans quoi, elles seraient non seulement excusables, mais à certains égards, bienfaisantes.

Ce qui rend franchement détestable le projet actuel, c'est qu'il tend à consolider des dispositions qui devaient prendre fin trois mois après la cessation des hostilités. Il rendrait dangereux et, ne craignons pas de le répéter, plus inapplicable l'article 419 dont la revision apparaissait à tous comme une réforme des plus urgentes.

La Chambre de Commerce jugera donc opportun de joindre ses protestations à celles qui se sont élevées de toutes parts.

Mais le texte voté par la Chambre des députés comporte un autre défaut, celui-là inouï et tout à fait intolérable : c'est un article ajouté au projet gouvernemental pour soustraire aux prescriptions de la loi les agriculteurs.

Ici, nous rencontrons une innovation tellement inique que nous ne saurions trop nous élever contre le sentiment qui l'a inspirée. Il conduirait à supprimer de la législation française le grand principe de l'égalité de tous devant la loi, conquête essentielle de notre grande Révolution. Faudra-t-il donc que chaque article du Code comporte une énumération des citoyens qui lui seront assujettis et de ceux auxquels il ne sera pas applicable ? N'est-ce pas assez de certaines dispositions fiscales, tendant à instituer des catégories de contribuables, les uns exempts d'impôts, les autres appelés à alimenter seuls le budget de l'Etat ? Et ces distinctions qui tendent à rompre l'unité française et à installer l'injustice dans ce qui doit être le domaine de l'équité, vont-elles s'étendre aux lois pénales ? Nous ne pouvons le croire : l'émotion de la Chambre des députés elle-même, après le vote de cette incroyable disposition, donne l'assurance que la Haute Assemblée ne saurait la sanctionner.

Au reste, il est évident que cette latitude illimitée pour la fixation des prix accordée explicitement et officiellement aux producteurs des denrées alimentaires conduira promptement à une aggravation formidable de la cherté de la vie, qu'on se propose précisément d'atténuer.

Ce projet de loi nous apparaît donc, en dépit de l'intention louable dont il procède, comme une dangereuse erreur, allant à l'encontre du but que s'est proposé le Gouvernement et nous estimons nécessaire d'adresser à la Haute Assemblée une énergique protestation. Votre Commission de législation commerciale et industrielle vous propose la délibération suivante :

La Chambre de Commerce de Paris,

Emue, comme les Pouvoirs publics, des dangers que présente au point de vue économique comme au point de vue social la hausse ininterrompue de toutes les marchandises et surtout des denrées alimentaires de première nécessité;

Convaincue, par suite, de l'urgence de mettre fin, par des mesures rigoureuses, à toute manœuvre illicite susceptible d'accentuer cette cherté de vie dont les causes bien connues, crise des transports et augmentation anormale de la circulation monétaire résultant de cinquante-deux mois de guerre, sont malheureusement sans remède immédiat;

Mais persuadée que la loi du 20 avril 1916, dangereuse, il est vrai, par la définition trop vague des délits qu'elle se propose de réprimer, mais tolérable en raison du caractère limité de sa durée, permet la répression de toute manœuvre coupable de spéculation ou d'accaparement;

Persuadée, en outre, que le texte voté par la Chambre des députés aggraverait presque à coup sûr le mal auquel il se propose de porter remède,

Emet le vœu que la Haute Assemblée ne ratifie pas des dispositions qui, par leur caractère définitif, rendraient plus difficilement applicables encore dans l'avenir des articles du Code pénal dont une expérience d'un siècle a fait ressortir les graves défauts et que naguère tout le monde était d'accord pour modifier suivant les indications de cette longue expérience;

Proteste surtout avec la dernière énergie contre une innovation contraire à l'équité, à l'unité nationale et aux principes d'égalité sur lesquels repose la Société moderne, car l'exception votée par la Chambre des députés tendrait à créer une catégorie de privilégiés auxquels les lois ne seraient pas applicables.

Et considère que le but poursuivi par le Gouvernement serait atteint très sûrement et avec le moindre risque pour le commerce honnête, par l'élévation aux chiffres prévus dans le projet actuel du maximum des peines édictées par la loi du 20 avril 1916, loi dont les effets doivent expirer trois mois après la cessation des hostilités.

Jurisprudence.

CONSEIL DE PRÉFECTURE DE LA CHARENTE, 19 AVRIL 1917.
SIMON CONTRE VILLE DE RUFFEC.

Nombreux sont les arrêtés des Conseils de Préfecture qui, dans toute la France, ont adopté la jurisprudence du Conseil d'État dans l'arrêt de Bordeaux contre la ville de Bordeaux du 30 mars 1916, étant proclamé le double principe que, si le concessionnaire de l'Eclairage ne peut pas suspendre le service public dont il a la charge, la commune concédante doit lui fournir les moyens, en présence de la hausse exorbitante et imprévue des charbons, de parer à la crise qui sévit depuis la première année de la guerre.

Mais l'arrêté que l'on va lire est, croyons-nous, le seul qui ait formulé avec netteté les conditions dans lesquelles devra être faite l'expertise en donnant mission aux experts de rechercher les conditions d'un accord, et ensuite de déterminer le prix du gaz, en fonction du prix du charbon.

Digitized by Google

Le concessionnaire doit continuer le service de la distribution pendant la guerre ; il doit recevoir une compensation aux charges extra-contractuelles qui résultent pour lui du prix actuel du charbon, prix qu'il était impossible de prévoir au moment de la signature du contrat.

S'il s'arrête faute d'avoir reçu lesdits secours, la concession ne saurait être résiliée.

La mission donnée aux experts doit comprendre notamment la fixation pour l'avenir du prix du gaz en fonction du prix du charbon.

Après en avoir délibéré, conformément à la loi ;

Considérant qu'il résulte de la jurisprudence actuelle du Conseil d'Etat, de son arrêt du 10 mars 1916, que les contrats de concession continuant bien de lier les parties d'une manière définitive, mais qu'à raison de la durée de la guerre et des conditions de son évolution entraînant une hausse anormale et imprévisible des prix du charbon, est née une situation extra-contractuelle qu'il convient d'étudier pour chaque cas d'espèce soumis au juge ;

Qu'en effet, le service concédé ne doit subir aucun arrêt, mais que pour assurer cette continuité le concédant doit en fournir les moyens au concessionnaire à partir du jour où les prévisions du contrat ont été dépassées ;

Considérant que le charbon étant la matière unique nécessaire à la fabrication du gaz, ses diverses étapes de hausse doivent être rigoureusement recherchées et établies ;

Considérant qu'en vertu du principe posé par le Conseil d'Etat le demandeur est fondé à soutenir qu'il ne peut être tenu d'assurer aux seules conditions prévues à l'origine, le fonctionnement du service qui lui est confié tant que subsistera la situation anormale actuelle et qu'il a droit d'obtenir une compensation aux charges extra-contractuelles qu'il subit ;

Considérant que, cette compensation s'établira judicieusement par un relèvement du prix du gaz à partir du jour où les prévisions des contractants ont été dépassées ;

Considérant que d'autre part, les diverses tentatives de conciliation entreprises entre les parties n'ont point abouti et qu'elles se présentent à l audience en maintenant intactes leurs demandes et conclusions ; qu'il y a lieu ensuite pour le Conseil, qui ne possède pas, quant à présent, les éléments d'appréciation suffisants, d'ordonner une expertise contradictoire générale qui aura pour but de rapprocher les contractants en recherchant de bonne foi un terrain d'entente, et, à défaut de conciliation, de fournir les bases nécessaires à la fixation de l'indemnité ;

Sur la demande reconventionnelle ;

Considérant que c'est à tort que la ville demande la résiliation du marché avec dommages-intérêts à raison de la fermeture de l'usine à gaz ;

Que ladite fermeture n'est point imputable au concessionnaire, n'est que la conséquence des charges extra-contractuelles dont il doit être relevé par le concédant ;

Qu'en conséquence les principes du code civil posés en ses articles 1184 et suivants ne peuvent trouver ici leur application pas plus, d'ailleurs, que l'article 52 du traité qui devient inopérant en l'espèce ;

Par ses motifs, statuant contradictoirement :

Arrête :

Article premier. — La demande des époux Simon est déclarée recevable en droit.

Art. 2. — Avant faire droit, il sera en la forme prescrite par la loi du 22 juillet 1889 procédé en présence des parties ou elles dûment appelées, à une expertise par trois experts qui auront pour mission ;

1° Rechercher et envisager de concert avec les parties toutes les mesures propres à les mettre d'accord ;

2° A défaut d'accord :

a) Rechercher la limite extrême des majorations du prix du charbon rendu à l'usine qui a pu être envisagé par les contractants du 16 septembre 1889 ;

b) Rechercher et préciser les dates des diverses étapes de hausse des prix des charbons depuis la déclaration de la guerre ;

c) Fixer en tenant compte des bénéfices complémentaires réalisés sur la vente de tous les sous-produits, la date limite à partir de laquelle doit s'appliquer l'élévation du prix du gaz ;

d) Fixer le taux de relèvement de ce dernier prix dans l'avenir en fonction du prix du charbon ;

e) Fixer à l'aide de toute constatation ou communication de documents utiles le chiffre de l'indemnité susceptible de revenir aux demandeurs à la date des opérations d'expertise ;

f) Faire toutes vérifications et prendre toutes informations qu'ils considèreront nécessaires pour former leurs convictions et s'entourer de tous documents propres à éclairer le Conseil.

Art. 3. — Acte est donné aux parties du choix qu'elles ont fait de leur expert, savoir :

M. Dumont, ingénieur, 23 *bis*, avenue Niel à Paris, pour les demandeurs ;

M. Robin, sous-ingénieur des Ponts et Chaussées, à Angoulême, pour la défenderesse.

Le Conseil désigne comme troisième expert M. Martin, sous-ingénieur des Ponts et Chaussées en retraite, 26, rue Paul-Abadie, à Angoulême.

Art. 4. — Les opérations d'expertise commenceront aussitôt la prestation de serment qui aura lieu devant le vice-président du Conseil de préfecture ou un conseiller.

Les trois experts se concerteront à l'effet de fixer les jours des opérations auxquels les parties seront dûment convoquées quatre jours à l'avance par lettre recommandée.

Le rapport sera déposé au greffe dans le délai de deux mois de la date du présent arrêté.

Il sera ensuite conclu, et par le Conseil statué ce qu'il appartiendra.

(Texte de l'arrêt dans la *Revue des concessions départementales*, janvier et juin 1918, page 79.)

Conseil d'Etat (15 février 1918) commune du Vésinet contre la Cie du gaz Franco-Belge.

Une Compagnie concessionnaire substituée à un premier concessionnaire peut à bon droit refuser de faire un abaissement de tarif, correspondant au tarif adopté par elle dans des communes quelconques, quand il résulte du cahier des charges que le premier concessionnaire devait seulement donner les mêmes tarifs aux communes desservies par la même usine.

Le maire qui a le droit de vérifier les livres du concessionnaire peut désigner à cette fin un mandataire de son choix.

En ce qui concerne le prix du gaz ;

Considérant qu'il résulte tant de l'ensemble des dispositions du cahier des charges notamment des termes des articles 7 et 25, que des conditions dans lesquelles le traité du 14 août 1881 est intervenu entre la commune et le sieur Marra, que les parties, en réservant aux habitants du Vésinet le bénéfice des abaissements de tarifs qui seraient ultérieurement consentis dans d'autres communes aux particuliers, n'ont eu en vue que les tarifs éventuellement appliqués dans les communes voisines qui devaient être desservies par la même usine.

Considérant que la société du Gaz franco-belge à la suite des conventions des 28 janvier et 12 février 1886 a été purement et simplement substituée aux droits du sieur Marra ; que cette société ne saurait à raison du fait qu'elle exploite en des régions éloignées diverses autres concessions d'éclairage par le gaz être tenue d'obligations plus

Digitized by Google

étendues que celles que le sieur Marra avait contractées ; que, dès lors, la commune requérante n'est pas fondée à prétendre que c'est à tort que le conseil de préfecture a refusé d'étendre à ses habitants les tarifs appliqués aux particuliers dans d'autres communes non situées dans le voisinage.

En ce qui concerne la vérification des livres ;

Considérant qu'aux termes de l'article 35 *bis* du cahier des charges « le maire aura le droit de vérifier les livres du concessionnaire » ; que cette disposition a eu pour but unique de garantir les droits éventuels de la commune à un partage de bénéfices ; qu'elle comporte nécessairement pour le maire s'il estime qu'il ne peut utilement procéder en personne à cette vérification le droit de déléguer à un représentant spécialement choisi, le pouvoir qui lui est conféré ; que la société du Gaz franco-belge qui ne relève aucune critique personnelle contre le représentant ainsi désigné n'est donc pas fondée à lui refuser la communication de ses livres ;

Décide à :

Article premier. — L'article 35 *bis* du cahier des charges est interprété en ce sens que le maire peut déléguer à un représentant spécialement choisi le droit de vérifier les livres de la société, que ce représentant peut être pris en dehors des employés municipaux et que la société est tenue de prendre toutes mesures utiles afin de permettre audit représentant d'exécuter la vérification dont il est chargé ;

Art. 2. — Les dépens exposés devant le conseil de préfecture seront partagés par moitié entre la commune et la société du Gaz franco-belge ;

Art. 3. — L'arrêté susvisé du conseil de préfecture du département de Seine et Oise est réformé en ce qu'il a de contraire à la présente décision ;

Art. 4. — Le surplus des conclusions de la requête de la commune du Vésinet est rejeté ;

Art. 5. — Les dépens exposés devant le conseil d'Etat seront supportés dans la proportion du tiers pour la commune du Vésinet et des deux tiers par la société du Gaz franco-belge.

Conseil d'Etat 15 février 1918.

Le texte de l'arrêt se trouve dans la « Revue des Concessions départementales et communales », janvier, juin, 1918, p. 96.

Paul Bougault,
Avocat à la Cour de Lyon.

Arrêté fixant les frais de contrôle des distributions d'énergie électrique.

Voici le texte de cet arrêté pris par le ministre des Travaux publics et des Transports, en date du 18 mars 1919 et publié au « Journal Officiel » du 20 mars, page 2893.

Les frais de contrôle dus à l'Etat par les entrepreneurs de distribution d'énergie électrique établies en vertu de permissions ou de concessions sont fixés, pour l'année 1919, à 10 fr par kilomètre de ligne, pour les distributions soumises au contrôle exclusif de l'Etat, et à 5 fr par kilomètre de ligne pour les distributions soumises au contrôle des municipalités, sous l'autorité du ministre des Travaux publics et des Transports.

ERRATA

Dans l'analyse de l'article de Hyde, Cady et Forsythe, « Echelles de température pour le tungstène et le carbone » du n° 24, 14 décembre t IV, p. 901, il s'est glissé une erreur qui existait du reste dans l'article original.

Les chiffres des abscisses, 1, 2, 3, 4, etc., indiquant les lumens par watt doivent être décalés d'une division vers la droite.

C'est ainsi que le chiffre de 6 lumens par watt doit correspondre sur la courbe B à la température de 2 250°.

Dans la réponse à la question 48 du numéro 26 du 28 décembre 1918, t. IV, p. 52 B, il s'est glissé quelques erreurs typographiques dans le tableau relatif à l'effet de couronne :

1° Lire 1,00 au lieu de 2,00 à la troisième ligne des écartements ;
2° Lire 62 000 v au lieu de 12 000 correspondant à un diamètre de 5 mm et un écartement de 2,50 cm.
3° Enfin lire 345 000 v au lieu de 145 000 pour un diamètre de 25 mm et un écartement de 10,00 cm.

De même dans l'article de M. Carey : « Note sur la courbe des coups de bélier au vannage et les lois non linéaires de fermeture et d'ouverture rapides », n° 10 du 8 mars 1918, t. V.

Page 368, dernière ligne de la colonne de gauche remplacer $\frac{2L}{a}$ par $\frac{4L}{a}$.

Page 370, colonne de gauche, dixième ligne à partir du bas en remontant, remplacer $\frac{T}{V}$ par $\frac{V}{T}$.

Dans la figure 11 remplacer —150 par —50 et plus bas remplacer —50 par —150.

Fig. 14 en dessous de la ligne de la charge statique remplacer +100 par —100.

Page 376, colonne de droite immédiatement avant la figure 16 remplacer $n = \frac{120}{20} = 4$ par $n = \frac{120}{30} = 4$.

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF :
Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 15. — 12 AVRIL 1919.

Chronique. — La réponse des électriciens belges au manifeste des 93 intellectuels allemands. — Sur le réglage de la vitesse des moteurs d'induction par couplage en cascade. — Conservatoire des Arts et Métiers. — Légion d'Honneur. — Bibliographie : Les Affaires et le Personnel, par L. CHAMBONNAUD, p. 537-538.

Section scientifique et technique. — Sur la théorie des machines asynchrones à champ elliptique, par W. GENKIN, p. 539. — Revues, analyses et informations : Analyses entre les équations de l'électrodynamique et celles de l'hydrodynamique, p. 548; Sur les coups de bélier dans les conduites de diamètre variable, p. 549.

Section industrielle. — Normalisation des groupes électrogènes à turbines à vapeur, p. 551. — Les alternateurs à haute fréquence, par Marius LATOUR, p. 557. — Revues, analyses et informations : Projet d'une ligne collectrice d'énergie électrique à travers la Suisse, p. 565; L'organisation économique des transports industriels automobiles, p. 566; L'électricité en agriculture, p. 567; Calcul des transformateurs tenant compte des prescriptions légales, p. 568.

Section économique et financière. — Les travaux du Conseil supérieur des Travaux publics, par H. C., p. 569. — Assemblées générales : Est-Electrique, p. 571; Société générale pour favoriser le développement du commerce et de l'industrie en France, p. 572.

Section de législation. — Notes sur l'application pratique de la loi du 15 juin 1906 et des règlements annexes (*suite*), par A. MONMERQUÉ, p. 573. — Législation, jurisprudence, réglementation, p. 576.

La réponse des électriciens belges au manifeste des 93 intellectuels allemands. — Les électriciens belges, qui ont pu pendant près de cinq ans se rendre compte, à leurs dépens, de la nature de la « kultur » allemande, ont tenu, lorsque, pour la première fois depuis la libération, la Société belge des Electriciens s'est réunie, à protester vivement contre les mensonges contenus dans le manifeste des 93 intellectuels allemands. Nous lisons en effet dans le dernier « Bulletin » de cette Société :

En octobre 1914, les grands journaux allemands nous apportaient un manifeste signé de 93 importants noms de représentants de la science allemande dans lequel, renversant impudemment les rôles, ces savants protestaient devant le monde civilisé contre les mensonges et les calomnies à l'aide desquels leurs ennemis tendaient à salir la juste cause de l'Allemagne, dans une lutte qui lui aurait été imposée !

Ils affirmaient que la cause de la guerre n'était imputable ni à l'Allemagne, ni à son empereur, si partisan de la paix universelle ; les Allemands n'avaient pas violé la neutralité de la Belgique ; il n'était pas vrai que les soldats allemands eussent touché à la vie ou à la propriété d'un seul citoyen belge ; au contraire, les Belges n'avaient cessé de dresser des embûches pour fusiller les soldats allemands ; ils avaient mutilé des blessés et assassiné des médecins allemands dans l'exercice de leurs fonctions ; il n'était pas vrai que les troupes allemandes eussent sévi avec brutalité contre Louvain...

On croit rêver en lisant ce monstrueux factum. Bien que justice en ait été faite depuis longtemps, je crois que nous ne pouvons le laisser passer sans protester énergiquement et vous propose, Messieurs, de voter la résolution suivante :

« Considérant qu'en octobre 1914, 93 savants allemands connus ont publié un manifeste qui a été reproduit dans les journaux du monde entier ;

Considérant, que dans ce manifeste, les signataires protestent devant le monde civilisé contre les mensonges et les calomnies à l'aide desquels leurs ennemis tendaient à salir la juste cause de l'Allemagne dans une lutte qui lui aurait été imposée ;

Considérant que les signataires affirmaient : que la cause de la guerre n'était imputable ni à l'Allemagne, ni à son paisible empereur ; que les Allemands n'avaient pas violé la neutralité de la Belgique ; qu'il n'était pas vrai que les soldats allemands eussent touché à la vie ou à la propriété d'un seul citoyen belge ; qu'au contraire, les Belges n'avaient cessé de dresser des embûches pour fusiller les soldats allemands ; qu'ils avaient mutilé des blessés et assassiné des médecins allemands dans l'exercice de leurs fonctions ; qu'enfin, il n'était pas vrai que les troupes allemandes eussent sévi avec brutalité à Louvain ;

La Société belge des Electriciens, réunie pour la première fois depuis juin 1914, en Assemblée générale à Bruxelles, le 10 janvier 1919 ;

Oppose à ces audacieuses calomnies le démenti le plus formel ;

Elle déclare solennellement que la vérité réside préci-

Digitized by Google

sément dans le contre-pied des assertions du manifeste allemand ;

Elle regrette que la belle, grande et noble indépendance professorale n'ait pu préserver les signataires du manifeste d'un acte de servilisme d'autant plus odieux qu'il se doublait d'une lâcheté, puisqu'il avait pour but d'accabler de malheureux opprimés ne pouvant se défendre ; et, convaincue qu'il n'est désormais plus possible d'avoir la moindre confiance dans la science allemande ;

Décide de rompre à l'avenir toute relation scientifique avec les Allemands et leurs alliés et, notamment, de ne plus effectuer avec eux l'échange des publications scientifiques et revues. »

Sur le réglage de la vitesse des moteurs d'induction par couplage en cascade. — Nous recevons, à propos de l'article de M. G. Darrieus, paru dans le numéro du 15 février 1919, t. v, p. 257-265, la lettre suivante :

J'ai été un peu surpris, en lisant l'étude de M. G. Darrieus sur le sujet ci-dessus, que l'auteur mentionne un ensemble de schémas connus (déjà décrit du reste dans une conférence de M. Latour sur le même sujet, reproduit dans la *R. G. E.*, 31 Août 1919, t. IV, p. 291), sans citer d'autre nom que celui de M. Scherbius. Il nous semble que les travaux antérieurs de MM. Maurice Leblanc, André Blondel et Marius Latour, etc., valaient au moins pareillement la peine d'une citation. A notre époque, les jeunes ingénieurs négligent souvent de citer leurs aînés, peut-être, parce qu'ils aiment croire qu'ils découvrent du nouveau.

Ils ignorent, par exemple, que la propriété des moteurs synchrones, pour la compensation des réseaux, a été déjà exposée en détail dans un petit livre sur les moteurs synchrones, publié en 1899 dans la collection Léauté (Moteurs synchrones à courants alternatifs, A. Blondel, Gauthier-Villars et Masson, éditeurs).

J'ajouterai que la tournure d'esprit que je critique ici provient en partie de ce que certains professeurs d'électrotechnique évitent systématiquement, dans leurs cours, de citer les auteurs, sous prétexte de ne pas tomber dans des discussions de priorité ! Il est à peine besoin de faire remarquer combien cette pratique est nuisible aux élèves, qui manquent ensuite de points de repère dans leurs recherches ; elle est d'autre part contraire aux intérêts français, puisque nous pouvons être fiers à bon droit des travaux de nos compatriotes relatifs à l'étude des machines et appareils électriques. Malheureusement on préfère souvent en attribuer la priorité à des étrangers. J. Bethenod.

Conservatoire national des Arts et Métiers. Conférence du dimanche 30 mars 1919. — M. H. Chaumat, sous-directeur de l'Ecole supérieure d'électricité, a fait, le dimanche 30 mars 1919, une intéressante communication sur « le Four électrique » au Conservatoire national des Arts et Métiers.

Ces conférences sont destinées au grand public ; M. H. Chaumat avec la netteté, on pourrait dire également avec le charme qui caractérise son enseignement, a donné tout d'abord les notions d'électricité indispensables pour comprendre ce que c'est qu'un four électrique et comment il fonctionne. Il a accompagné ces notions d'expériences claires et simples qui font voir physiquement ce qui se passe.

Après l'exposé de ces premiers éléments, M. H. Chaumat a décrit les différents types de fours électriques et les avantages que présente leur emploi ; il a donné quelques détails sur la constitution des fours et de leurs électrodes.

Le conférencier, après avoir dit quelques mots sur la préparation de l'aluminium et de différents corps par électrolyse, a examiné les fabrications qui se font au four électrique proprement dit : préparation des différents carbures métalliques, préparation de la cyanamide calcique par fixation de l'azote atmosphérique, métallurgie du fer, de l'acier, des ferro-alliages, préparation de la fonte synthétique, etc.

M. H. Chaumat a terminé son intéressante conférence en montrant l'effort considérable qui a été réalisé pendant la guerre pour la fabrication des produits nécessaires à la défense nationale dont un grand nombre étaient préparés au four électrique. L'aménagement de 300 000 ch d'énergie hydraulique a contribué considérablement à permettre cet effort.

Le conférencier a exprimé le vœu que l'énergie dépensée par tous dans la lutte pour la victoire ne soit pas perdue et que l'effort colossal du temps de guerre se continue pour la prospérité de tout le pays.

Légion d'honneur. — Par décret en date du 3 avril, inséré au « Journal officiel » du 5 avril, p. 3569, M. F. Payen, membre du Comité de Rédaction de la « R. G. E. », a été nommé chevalier de la Légion d'honneur avec la mention suivante :

Payen (Fernand), chef du Service juridique et législatif au cabinet du Ministre de la Reconstitution industrielle ; avocat à la Cour d'Appel de Paris ; 25 ans de pratique professionnelle comme avocat. Titres exceptionnels : a rendu pendant la guerre d'importants services dans l'étude des questions législatives et contentieuses intéressant le Ministère de l'Armement, en général, et la Direction des Mines en particulier.

La « Revue générale de l'Electricité » adresse à son collaborateur ses félicitations.

Bibliographie : Les Affaires et le Personnel, par L. Chambonnaud, professeur à l'École des Hautes Études commerciales (1). — En rendant compte dans notre numéro du 14 septembre 1918, t. IV, p. 362, de l'ouvrage du même auteur « La technique des Affaires nouvelles » nous annoncions que cet ouvrage était le premier d'une série de neuf livres consacrés au même sujet. Celui qui nous occupe aujourd'hui est le troisième de cette série.

Ainsi que l'indique son titre, il s'occupe des nombreuses questions touchant le personnel ; il est divisé en 4 parties et 36 chapitres dont nous nous abstiendrons de faire l'énumération.

Le livre débute par une comparaison suggestive entre les maisons suivant qu'elles sont organisées ou non organisées. Puis l'auteur entre dans le vif du sujet en examinant comment doit se faire le recrutement du personnel et donne à ce propos quelques indications sur les méthodes de l'Université d'Harvard et la méthode de Thompson. Il passe alors à l'instruction du personnel puis à sa direction ; ce sont là deux tâches des chefs d'industrie ou de commerce des plus délicates et sur lesquelles M. Chambonnaud s'étend longuement en montrant par de nombreux exemples comment les problèmes qu'elles soulèvent peuvent être résolus à la satisfaction du personnel et du patron. Dans la dernière partie du livre, l'auteur traite de la rémunération du personnel en considérant successivement l'ouvrier, l'employé, le vendeur et le voyageur et termine par un chapitre intitulé « L'art de conduire les hommes » où il évoque les excellents résultats que l'on ne peut manquer d'obtenir d'une collaboration des employeurs et employés.

Ajoutons que l'ouvrage est d'une lecture facile, que tous les chapitres sont intéressants et qu'il donne aux chefs de maison une étude fortement documentée du sujet qui y est traité.

(1) Un vol., format 25 cm × 16 cm, 574 pages, édité par H. Dunod et E. Pinat. Prix, cartonné, 22 fr, plus la majoration temporaire de 20 pour 100.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Sur la théorie des machines asynchrones à champ elliptique

En partant de la théorie de Fynn l'auteur établit les équations générales des machines asynchrones et démontre que, dans tous les cas, le problème peut être ramené à l'étude d'un seul circuit remplaçant l'ensemble de l'inducteur et de l'induit. Un circuit équivalent est ensuite recherché dans les cas particuliers d'un moteur à champ tournant, d'un moteur monophasé, d'un convertisseur de phase et d'un compteur à induction.

Equations générales. — Considérons un enroulement fermé sur lui-même tournant dans le sens de la flèche (fig. 1) dans un champ elliptique et remplaçons

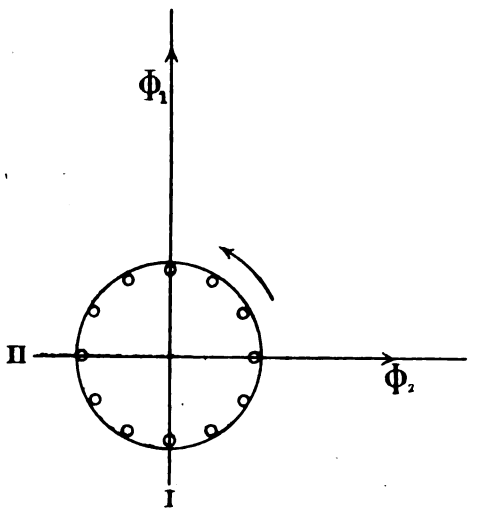


Fig. 1.

ce dernier par deux champs alternatifs orthogonaux Φ_1 et Φ_2 décalés convenablement dans le temps. Les courants induits dans l'enroulement par sa rotation dans le champ elliptique donneront naissance à un champ de réaction de forme également elliptique et bien que l'ellipse représentant le champ de réaction d'induit soit différente de l'ellipse primitive il pourra être remplacé par deux champs alternatifs simples Φ_1' et Φ_2' dirigés suivant les mêmes axes I et II.

Dès lors nous pourrons admettre avec Fynn, l'existence de deux systèmes de courants alternatifs simples J_2 et J_3 immobiles dans l'espace et ayant comme axes de symétrie les axes I et II. La superposition de ces deux systèmes orthogonaux de courants donnera, à chaque instant, la distribution vraie des courants sur la périphérie de l'induit.

Au point de vue de la réaction d'induit nous aurons affaire avec le courant J_2 agissant dans l'axe I et produisant un champ Φ'_1, et avec le courant J_3 agissant dans l'axe II et produisant un champ Φ'_2.

Les champs dirigés suivant le même axe se combinent géométriquement pour donner les champs résultants :

$\Phi_{r1} = \Phi_1 + \Phi'_1$ dans l'axe I

$\Phi_{r2} = \Phi_2 + \Phi'_2$ dans l'axe II.

Sur la figure 2 nous avons représenté schématiquement par les spires A_1 B_1 et A_2 B_2 les deux systèmes de

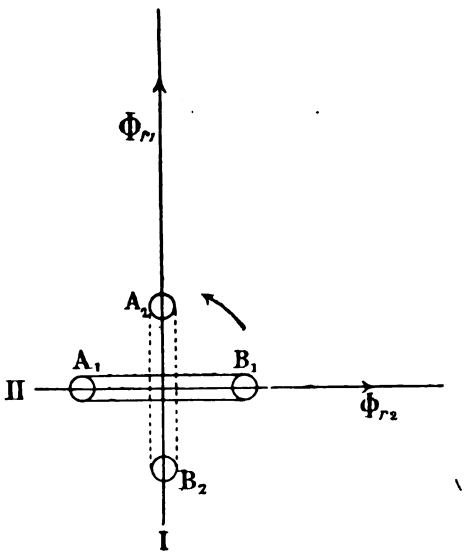


Fig. 2.

conducteurs sièges de courants J_2 et J_3 immobiles dans l'espace malgré la rotation de l'induit.

Désignons par ω la pulsation du champ, par c la fréquence correspondant à cette pulsation et par c_r la fréquence de rotation, c'est à-dire une grandeur définie comme la précédente, mais rapportée à la vitesse de rotation de l'induit dans un champ bipolaire.

Dans les conducteurs A_1 B_1 dont l'axe coïncide avec I, le flux Φ_{r1} développe une force électromotrice $-\omega\Phi_{r1}$ due à la pulsation et le flux Φ_{r2} une force électromotrice

Digitized by Google

$\omega \frac{c_r}{c} \Phi_{r_2}$ due à la rotation. De même, dans les conducteurs $A_2 B_2$ ayant II pour axe de symétrie, la force électromotrice de pulsation est $-\omega \Phi_{r2}$ et la force électromotrice de rotation est $-\omega \frac{c_r}{c} \Phi_{r1}$

En supposant que toutes les grandeurs varient suivant la loi sinusoïdale et en désignant par R_2 la résistance ohmique des conducteurs équivalents dans un axe

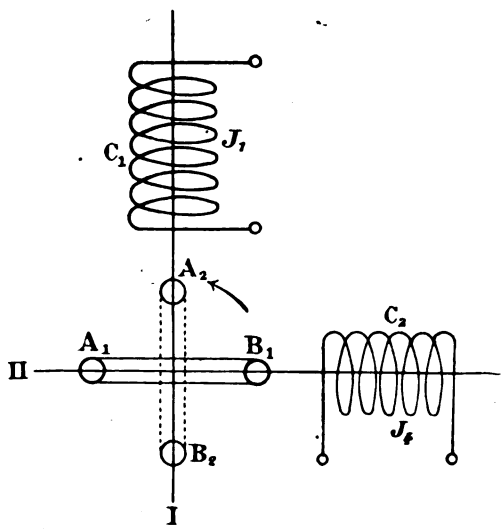


Fig. 3.

quelconque, on peut écrire les deux équations suivantes représentant l'équilibre des forces électromotrices dans chaque axe

$$\left.\begin{aligned} -j\omega\Phi_{r1} + \omega\frac{c_r}{c}\Phi_{r2} - J_2R_2 = 0 \\ -j\omega\Phi_{r2} - \omega\frac{c_r}{c}\Phi_{r1} - J_3R_2 = 0 \end{aligned}\right\} j = \sqrt{-1}. \quad (1)$$

Considérons, maintenant, l'ensemble de l'inducteur et de l'induit. Il est évident que l'inducteur peut être remplacé au même titre que l'induit par deux enroulements fictifs C_1 et C_2 agissant suivant les axes I et II et parcourus par les intensités J_1 et J_4.

Nous désignerons comme suit les divers coefficients d'induction entrant en jeu entre les enroulements fictifs ;

$\mathcal{L}_1$ coefficient de self-induction de l'enroulement C_1 ;

$\mathcal{L}_2$ coefficient de self-induction des enroulements $A_1 B_1$ et $A_2 B_2$;

$\mathcal{L}_4$ coefficient de self-induction de l'enroulement C_2

$\mathfrak{M}_1$ coefficient d'induction mutuelle entre C_1 et $A_1 B_1$;

$\mathfrak{M}_2$ coefficient d'induction mutuelle entre C_2 et $A_2 B_2$,

l_1 coefficient de self-induction des fuites de l'enroulement C_1 ;

l_2 coefficient de self-induction des enroulements $A_1 B_1$; et $A_2 B_2$;

l_4 coefficient de self-induction de l'enroulement C_2.

Les résistances ohmiques des enroulements C_1 et C_2 sont désignées par R_1 et R_2.

Exprimons les valeurs des flux résultants en fonction des intensités.

$$\Phi_{r1} = \mathfrak{M}_1 J_1 + \mathcal{L}_2 J_2,$$
$$\Phi_{r2} = \mathfrak{M}_2 J_4 + \mathcal{L}_2 J_3.$$

En substituant ces valeurs dans les équations (1) et en écrivant les deux équations de force électromotrice relatives aux enroulements C_1 et C_2 soumis à l'action de tensions $\mathcal{E}_1$ et $\mathcal{E}_2$ on obtient

$$\left.\begin{aligned} \mathcal{E}_1 &= J_1R_1 + j\omega\mathcal{L}_1 J_1 + j\omega\mathfrak{M}_1 J_2, \\ 0 &= -j\omega(\mathfrak{M}_1 J_1 + \mathcal{L}_2 J_3) + \omega\frac{c_r}{c}(\mathfrak{M}_2 J_4 + \mathcal{L}_2 J_3) - J_2R_2, \\ 0 &= -j\omega(\mathfrak{M}_2 J_4 + \mathcal{L}_2 J_3) - \omega\frac{c_2}{c}(\mathfrak{M}_1 J_1 + \mathcal{L}_2 J_2) - J_3R_2, \\ \mathcal{E}_2 &= J_4R_4 + j\omega\mathcal{L}_4 J_4 + j\omega\mathfrak{M}_2 J_3. \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

En appelant a_1 le rapport de transformation entre l'enroulement primaire C_1 et l'enroulement secondaire $A_1 B_1$ et a_2 le rapport de transformation intervenant entre C_2 et $A_2 B_2$, on peut écrire

$$\mathcal{L}_1 = \mathfrak{M}_1 a_1 + l_1, \qquad \mathcal{L}_2 = \frac{\mathfrak{M}_1}{a_1} + l_2,$$

$$\mathcal{L}_4 = \mathfrak{M}_2 a_2 + l_4, \qquad \mathcal{L}_2 = \frac{\mathfrak{M}_2}{a_2} + l_2.$$

Portons ces valeurs dans les équations (2).

$$\left.\begin{aligned} \mathcal{E}_1 &= J_1R_1 + j\omega l_1 J_1 + j\omega a_1\mathfrak{M}_1\left(J_1 + \frac{J_2}{a_1}\right), \\ 0 &= -j\omega l_2 J_2 - j\omega\mathfrak{M}_1\left(J_1 + \frac{J_2}{a_1}\right) \\ &\quad + \omega\frac{c_r}{c} l_2 J^3 + \omega\frac{c_r}{c}\mathfrak{M}_2\left(J_4 + \frac{J_3}{a_2}\right) - J_2R_2, \\ 0 &= -j\omega l_2 J_3 - j\omega\mathfrak{M}_2\left(J_4 + \frac{J_3}{a_2}\right) \\ &\quad - \omega\frac{c_r}{c} l_2 J_2 - \omega\frac{c_r}{c}\mathfrak{M}_1\left(J_1 + \frac{J_2}{a_2}\right) - J_3R_2, \\ \mathcal{E}_2 &= J_4R_4 + j\omega l_2 J_4 + j\omega a_2\mathfrak{M}_2\left(J_4 + \frac{J_3}{a_2}\right). \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

Divisons les deux équations se rapportant au rotor par a_1 a_2 et posons

$$\omega l_1 = x_1,$$
$$\omega l_2 = x_2,$$
$$\omega l_4 = x_4,$$

où x_1, x_2, x_4 désignent les réactances de fuites des circuits correspondants.

Digitized by Google

Il vient

$$\left.\begin{aligned} j\omega\frac{\mathfrak{M}_1}{a_1}(a_1 J_1 + J_2) &= \frac{c_r}{c}\,\omega\,\frac{\mathfrak{M}_2}{a_2}(a_2 J_4 + J_3) \\ &\quad + \frac{c_r}{c}x_2 J_3 - J_2 (R_2 + jx_2), \\ j\omega\frac{\mathfrak{M}_2}{a_2}(a_2 J_4 + J_3) &= -\frac{c_r}{c}\,\omega\,\frac{\mathfrak{M}_1}{a_1}(a_1 J_1 + J_2) \\ &\quad - \frac{c_r}{c}x^2 J_2 - J_3 (R_2 + jx_2). \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

Posons pour simplifier

$$\left.\begin{aligned} j\omega\frac{\mathfrak{M}_1}{a_1}(a_1 J_1 + J_2) &= E_1 \\ \text{et} \\ j\omega\frac{\mathfrak{M}_2}{a_2}(a_2 J_4 + J_3) &= E_2 \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

Il s'ensuit que

$$\frac{c_r}{c}\,\omega\,\frac{\mathfrak{M}_2}{a_2}(a_2 J_4 + J_3) = -j\frac{c_r}{c}E_2$$

et

$$-\frac{c_r}{c}\,\omega\,\frac{\mathfrak{M}_1}{a_1}(a_1 J_1 + J_2) = +j\frac{c_r}{c}E_1.$$

Cela permet d'écrire les équations (4) comme suit

$$\left.\begin{aligned} E_1 + j\frac{c_r}{c}E_2 &= -J_2 (R^2 + jx_2) + \frac{c_r}{c}x^2 J_3, \\ E^2 - j\frac{c_r}{c}E_1 &= -J_3 (R_2 + jx_2) - \frac{c_r}{c}x_2 J_2. \end{aligned}\right\}$$

Multiplions les deux membres de la première équation par $j\frac{c_r}{c}$ et additionnons. Faisons la même opération en multipliant les deux membres de la deuxième équation par $-j\frac{c_r}{c}$

$$\left.\begin{aligned} E_2\left[1-\left(\frac{c_r}{c}\right)^2\right] &= -J_3\left\{R_2 + jx_2\left[1-\left(\frac{c_r}{c}\right)^2\right]\right\} - jJ_2 R_2\frac{c_r}{c}, \\ E_1\left[1-\left(\frac{c_r}{c}\right)^2\right] &= -J_2\left\{R_2 + jx_2\left[1-\left(\frac{c_r}{c}\right)^2\right]\right\} + jJ_3 R_2\frac{c_r}{c}. \end{aligned}\right\}$$

Divisons les deux équations obtenues par

$$\left[1-\left(\frac{c_r}{c}\right)^2\right]$$

en posant

$$R = \frac{R_2}{1-\left(\frac{c_r}{c}\right)^2} \quad \ldots\ldots \quad (6)$$

il vient

$$\left.\begin{aligned} E_1 &= -J_2 (R + jx_2) + jR\frac{c_r}{c}, \\ E_2 &= -J_3 (R + jx_2) + jR\frac{c_r}{c}. \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

Les deux équations du système (3) se rapportant au stator peuvent s'écrire

$$\frac{\mathcal{E}_1}{a_2} = (a_2 J_1) + \frac{R_1}{a_1^2} + j\,(a_1 J_1)\frac{x_1}{a_1^2} + j\omega\frac{\mathfrak{M}_1}{a_1}(a_1 J_1 + J_2),$$

$$\frac{\mathcal{E}_2}{a_2} = (a_2 J_4) + \frac{a_2^2}{R_4} + j\,(a_2 J_4)\frac{x_4}{a_2^2} + j\omega\frac{\mathfrak{M}_2}{a_2}(a_2 J_4 + J_3).$$

On voit que les valeurs des intensités, des forces électromotrices et des impédances apparaissent réduites au secondaire. Nous pouvons donc poser

$$\frac{\mathcal{E}'_1}{a_1} = \mathcal{E}'_1, \quad a_1 J_1 = -J'_1, \quad a_2 J_4 = -J'_4, \quad \frac{\mathcal{E}_2}{a_2} = \mathcal{E}'_2,$$

$$\frac{R_1}{a_1^2} = R'_1, \quad \frac{R_4}{a_2^2} = R'_4, \quad \frac{x_1}{a_1^2} = x'_1, \quad \frac{x_4}{a_2^2} = x'_4.$$

Nous arrivons, ainsi, au système suivant d'équations remplaçant le système (3).

$$\left.\begin{aligned} \mathcal{E}'_1 &= -R'_1 J'_1 - jx'_1 J'_1 + E_1 \\ E_1 &= -J_2 (R + jx_2) + jJ_3 R\frac{c_r}{c} \\ E_2 &= -J_3 (R + jx_2) - jJ_2 R\frac{c_r}{c} \\ \mathcal{E}'_2 &= -R'_4 J'_4 - jx'_4 J'_4 + E_2 \end{aligned}\right\} \quad (8)$$

La première et la dernière de ces équations relient les circuits du stator avec ceux du rotor, les deux autres établissent une relation entre les deux circuits du rotor.

Circuit équivalent. — Reprenons le système des équations générales (8). Il est évident que nous pouvons donner la forme suivante aux deux équations se rapportant au rotor

$$E_1 = -J_2\left\{R\left(1-\frac{c_r}{c}\right) + jx_2\right\} + (jJ_3 - J_2)R\frac{c_r}{c} \quad (9)$$

$$E_2 = -J_3\left\{R\left(1-\frac{c_r}{c}\right) + jx_2\right\} - (J_3 + jJ_2)R\frac{c_r}{c} \quad (10)$$

Multiplions les deux membres de l'équation (9) et ceux de la première des équations (8) par $j = \sqrt{-1}$ et

Digitized by Google

écrivons le système complet ainsi obtenu

$$
\left.\begin{aligned}
j\mathcal{E}'_1 &= -R'_1(jJ'_1) - jx'_1(jJ'_1) + jE_1,\\
0 &= +jE_1 + jJ_2\left\{R\left(1-\frac{c_r}{c}\right)+jx_2\right\}\\
&\quad + (J_3+jJ_2)R\frac{c_r}{c},\\
0 &= +E_2 + J_3\left\{R\left(1-\frac{c_r}{c}\right)+jx_2\right\}\\
&\quad + (J_3+jJ_2)R\frac{c_r}{c},\\
\mathcal{E}'_2 &= +R'_4J'_4 - jx'_4J'_4 + E_4.
\end{aligned}\right\} \quad (11)
$$

où les symboles jE_1 et E_2 signifient

$$jE_1 = j\omega\frac{\mathfrak{M}_1}{a_1}(-jJ_1^2+jJ_2) \qquad E_2 = j\omega\frac{\mathfrak{M}_2}{a_2}(-J'_4+J_3).$$

Les quatre relations (11) entre les constantes des circuits, les forces électromotrices et les intensités sont susceptibles de la même interprétation que les relations analogues dans un transformateur statique. En effet elles s'appliquent au circuit de la figure (4) qui présente une analogie complète avec le schéma indiqué par Steinmetz pour les transformateurs.

Afin de rendre le schéma plus lisible nous avons

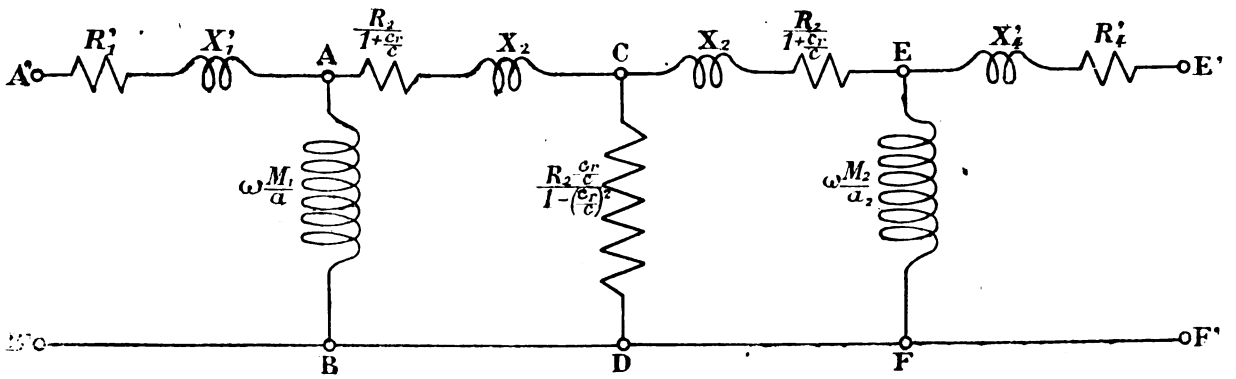


Fig. 4.

représenté la distribution de courants sur la figure 5.

Le problème se trouve donc ramené à l'étude d'un seul circuit contenant des dérivations en A, C et E et dont les constantes peuvent être obtenues pour une

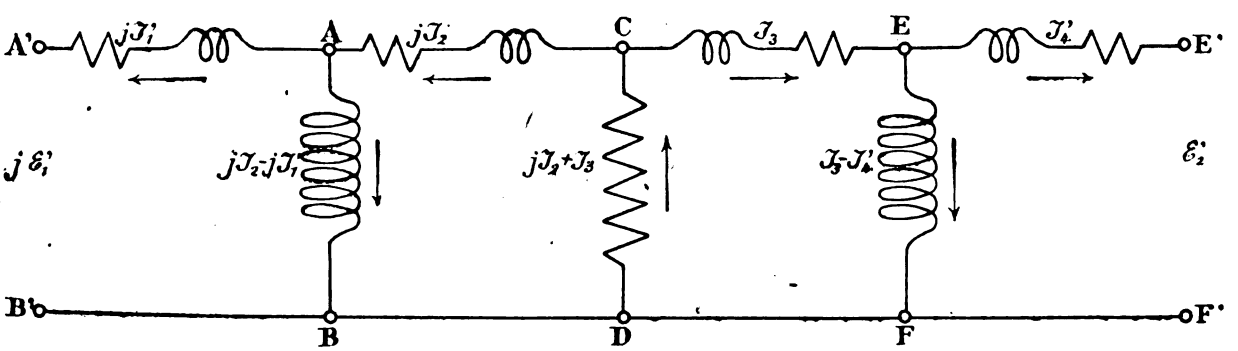


Fig. 5.

machine donnée, soit par calcul, soit par essai. On pourra ensuite en tirer les valeurs des intensités en assignant aux résistances

$$\frac{R'_1}{1+\frac{c_r}{c}} \quad \text{et} \quad \frac{R_2\frac{c_r}{c}}{1-\left(\frac{c_r}{c}\right)^2}$$

les valeurs convenables définies pour la vitesse c_r de l'induit.

Il est à remarquer que toutes les valeurs des tensions et des intensités se rapportant aux enroulements C_1 et A_1B_1 (fig. 3) sont affectées du facteur $j=\sqrt{-1}$ indiquant une rotation de $\frac{\pi}{2}$ en avant par rapport aux valeurs réelles. Les deux paires de circuits $C_1 \bigcirc A_1B$ et $C_2 \bigcirc A_2B_2$ sont, d'ailleurs, absolument symétriques. On pourrait donc conserver les valeurs réelles dans le premier circuit et on serait alors conduit à substituer

Digitized by Google

aux valeurs réelles du second circuit des vecteurs tournés de $\frac{\pi}{2}$ en arrière, c'est-à-dire $\frac{\mathcal{E}'_2}{j}, \frac{J'_4}{j}, \frac{J_3}{j}$.

Il en résulte que, si l'on applique le schéma de la figure 4 à la recherche des intensités en partant des tensions données $\mathcal{E}'_1$ et $\mathcal{E}'_2$, il faut substituer à ces dernières les valeurs $j\mathcal{E}'_1$, $\mathcal{E}'_2$ ou $\mathcal{E}'_1$, $\frac{\mathcal{E}'_2}{j}$. Inversement si l'on cherche les tensions et les intensités de l'un des deux circuits séparés dans le schéma par la dérivation CD, il convient de faire subir aux valeurs trouvées des tensions et des intensités du second circuit une rotation de $\frac{\pi}{2}$ dans le sens convenable pour obtenir la véritable direction de ces vecteurs.

Le schéma de la figure (4) diffère de celui de Steinmetz par la présence de la dérivation CD contenant une résistance ohmique variable. Toutes les valeurs portées sur le schéma sont réduites au secondaire. Le stator est représenté par deux circuits A'ABB' et E'EFF' qui sont reliés au rotor au moyen de deux dérivations AB et EF laissant passer le courant magnétisant. Les circuits ABCD et CEAD représentent le rotor. Leur liaison se trouve assurée par une résistance ohmique variable avec le glissement

$$R = \frac{R_r \frac{c_r}{c}}{1 - \left(\frac{c_r}{c}\right)^2}.$$

Au synchronisme cette résistance devient infinie et le circuit CD se trouve interrompu. A ce moment les tensions appliquées aux enroulements C_1 et C_2 (fig (3) sont liées par un circuit A'AC EE' qui laisse passer le courant à vide par les dérivations en A et en E. Tout autre courant prenant naissance dans le circuit, par suite de l'action des tensions $j\mathcal{E}'_1$ et $\mathcal{E}'_2$, constituera un échange de puissance entre les enroulements C_1 et C_2 du stator.

Au repos, lorsque $c_r = 0$, la résistance variable de la branche CD s'annule et le point C se confond avec le point D. Les deux circuits ACDB et ECDF n'ayant plus de liaison entre eux, les tensions $j\mathcal{E}'_1$ et $\mathcal{E}'_2$ agiront indépendamment sur les circuits respectifs. Aucun échange de puissance ne sera plus possible entre les enroulements C_1 et C_2 du stator.

Le schéma, tel qu'il est donné par la figure 5 illustrant

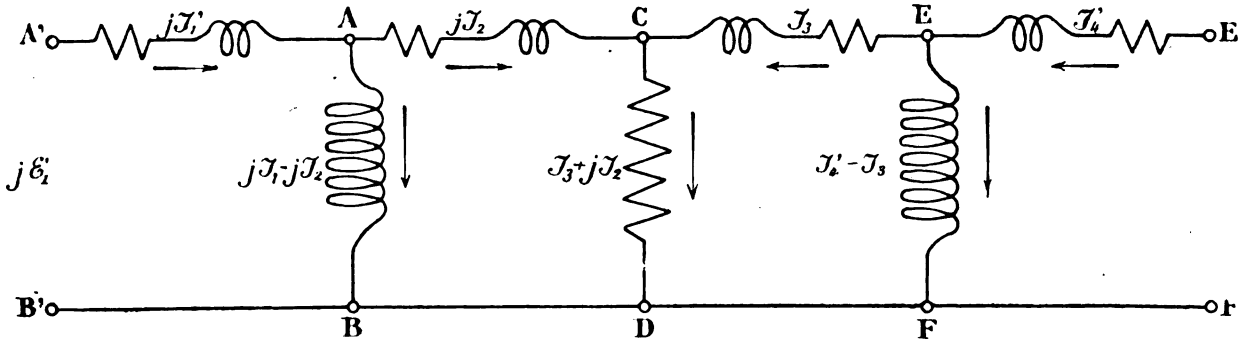


Fig. 6.

les équations (11), s'applique à un générateur. En changeant les signes de tous les vecteurs on arrive au schéma de la figure 6 applicable à un moteur.

Enfin nous pouvons écrire les équations (11) sous la forme (11 bis) qui se traduit par le schéma de la figure 7 d'un convertisseur de phase

$$\left.\begin{aligned}
&\mathcal{E}'_1 = -R'_1 J'_1 - jx'_1 J'_1 + E_1,\\
&jE_2 = -jJ_3\left\{R\left(1-\frac{c_r}{c}\right)+jx_2\right\} + (J_2 - jJ_3)R\frac{c_r}{c},\\
&E_1 = -J_2\left\{R\left(1-\frac{c_r}{c}\right)-jx_2\right\} - (J_2 - jJ_2)R\frac{c_r}{c},\\
&-j\mathcal{E}'_2 = R'_4(jJ'_4) + jx(jJ'_4) - jE_2.
\end{aligned}\right\} \quad (11\,bis)$$

Couple. — Avant de passer à l'application du circuit équivalent aux cas particuliers, nous rechercherons l'expression générale du couple mécanique agissant sur l'induit. Nous nous bornerons d'exprimer la grandeur du couple en fonction des tensions E_1, E_2 aux points A et E qui se confondent avec les tensions appliquées aux bornes de la machine si l'on néglige la résistance et la réactance des fuites.

L'expression du couple, en watts synchrones, peut être obtenue en formant à l'aide des relations (1) la somme $\omega \Phi_{r1} J_3 + \omega \Phi_{r2} J_2$. On arrive au même résultat plus rapidement en examinant le circuit équivalent.

En effet la puissance active transmise au rotor est

$$R\frac{c_r}{c}(J'_2 + J_3)^2 + R\left(1 - \frac{c_r}{c}\right)(J'^2_2 + J'^2_3).$$

où

$$J'^2 = jJ^2 \qquad \text{et} \qquad R = \frac{R_2}{1 + \left(\frac{c_r}{c}\right)^2}.$$

Une partie $R\left[1 - \left(\frac{c_r}{c}\right)^2\right](J'^2_2 + J^2_3)$ de cette puis-

Digitized by Google

sance étant absorbée sous forme de chaleur, il reste la puissance mécanique disponible

$$R\frac{c_r}{c}(J'_2+J_3)^2+R\left(1-\frac{c_r}{c}\right)(J'^2_2+J^2_3)$$
$$-R\left[1-\left(\frac{c_r}{c}\right)^2\right](J'^2_2+J^2_3)$$
$$=2R\frac{c_r}{c}J'_2J_3+R\left(\frac{c_r}{c}\right)^2[J'^2_2+J^2_3].$$

Si l'on désigne par C le couple en watts synchrones, la puissance mécanique peut être égalée à $C\frac{c_r}{c}$, d'où le couple

C = valeur absolue de

$$\left\{2jJ_2J_3R+[J^2_3+(jJ_2)^2]R\frac{c_r}{c}.\right\} \qquad (12)$$

Il reste à exprimer jJ_2 et J_3 en fonction des tensions E_1 et E_2, ce qui peut être fait facilement à l'aide des

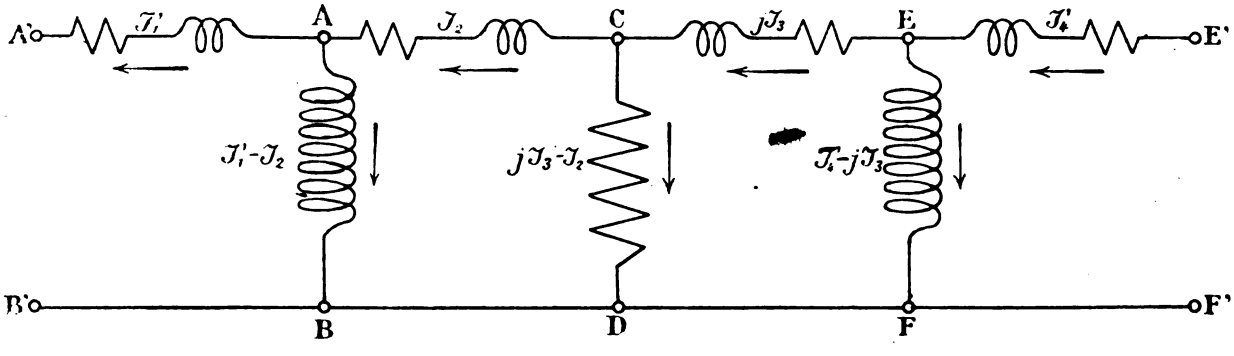


Fig. 7.

équations (11). En éliminant jJ_2 et J_3 de la deuxième et de la troisième équation on obtient finalement

$$J_3=\frac{1}{2}\left[\frac{jE_1-E_2}{R\left(1-\frac{c_r}{c}\right)+jx_2}-\frac{jE_1+E_2}{R\left(1+\frac{c_r}{c}\right)+jx_2}\right].$$

$$jJ_2=-\frac{1}{2}\left[\frac{jE_1-E_2}{R\left(1-\frac{c_r}{c}\right)+jx_2}+\frac{jE_1+E_2}{R\left(1+\frac{c_r}{c}\right)+jx_2}\right],$$

Portons ces valeurs dans l'expression (12) en désignant par φ l'angle entre les vecteurs jE_1 et E_2 et par $[E]$ le module de E

$$C=\frac{R}{2}\left\{\frac{|E_1|^2+|E_2|^2+2|E_1E_2|\sin\varphi}{R^2\left(1+\frac{c_r}{c}\right)^2+x_2^2}\left(1+\frac{c_r}{c}\right)\right.$$
$$\left.-\frac{|E_1|^2+|E_2|^2-2|E_1E_2|\sin\varphi}{R_2\left(1-\frac{c_r}{c}\right)^2+x_2^2}\left(1-\frac{c_r}{c}\right)\right\} \qquad (13)$$

Remplaçons dans l'expression (13) R par sa valeur

$$\frac{R_2}{1-\left(\frac{c_r}{c}\right)^2}.$$

En simplifiant on obtient l'expression du couple sous la forme suivante

$$2C=2|E_1E_2|\sin\varphi\left\{\frac{\frac{R_2}{1-\frac{c_r}{c}}}{\left(\frac{R_2}{1-\frac{c_r}{c}}\right)^2+x_2^2}+\frac{\frac{R_2}{1+\frac{c_r}{c}}}{\left(\frac{R_2}{1+\frac{c_r}{c}}\right)^2+x_2^2}\right\}$$
$$+(|E_1|^2+|E_2|^2)\left\{\frac{\frac{R_2}{1-\frac{c_r}{c}}}{\left(\frac{R_2}{1-\frac{c_r}{c}}\right)^2+x_2^2}-\frac{\frac{R_2}{1+\frac{c_r}{c}}}{\left(\frac{R_2}{1+\frac{c_r}{c}}\right)^2+x_2^2}\right\} \qquad (14)$$

Afin d'illustrer ces résultats théoriques nous les appliquerons à un certain nombre de machines appartenant à cette classe

Moteur à champ tournant. — Dans un moteur à champ tournant les deux enroulements C_1, C_2 (fig. 3) sont identiques, ils sont alimentés par les tensions $\mathcal{E}'_1$ et $\mathcal{E}'_2$ égales en valeur absolue et décalées entre elles de $\frac{\pi}{2}$ exactement.

On peut donc poser $j\mathcal{E}_1=\mathcal{E}_2=\mathcal{E}$. Le circuit équivalent devient celui de la figure 8.

Etant donnée l'identité absolue de deux circuits de

Digitized by Google

part et d'autre de la dérivation CD, on peut réduire le schéma à la portion A'ACDBB', en doublant la résistance du circuit CD.

Nous pourrons, alors, additionner les deux résistances connectées en série dans le circuit ACD

$$\frac{R_2}{1+\frac{c_r}{c}}+\frac{2R_2\frac{c_r}{c}}{1-\left(\frac{c_r}{c}\right)^2}=\frac{R_2}{1-\frac{c_r}{c}}.$$

Le circuit équivalent d'un tel moteur se ramène donc à celui de la figure 9.

On retrouve le schéma bien connu de Steinmetz en remarquant que

$$1-\frac{c_r}{c}=g \text{ glissement}.$$

La valeur du couple peut être également déduit de la formule générale (14) en posant $E_1=E_2$ et sin $\varphi=1$

$$2C=4(E_1)^2\frac{\frac{R_2}{g}}{\left(\frac{R_2}{g}\right)^2+x_2^2}.$$

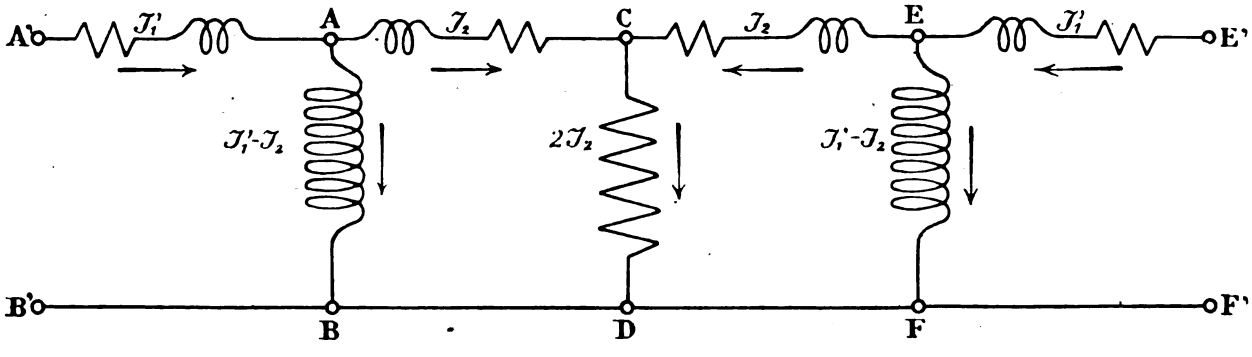


Fig. 8.

Moteur monophasé. — Dans le cas d'un moteur monophasé le stator ne possède qu'un seul enroulement C_1. Le circuit équivalent de la machine devient donc celui de la figure 10.

Montrons que ce schéma permet de retrouver les propriétés principales d'un moteur monophasé.

Au synchronisme la dérivation CD disparaît. Si l'on néglige les résistances et les réactances des fuites dans

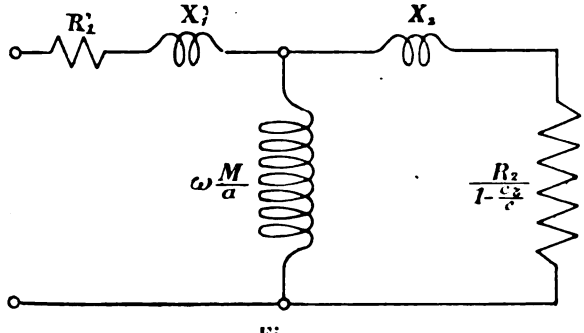


Fig. 9.

le stator et dans le rotor, la marche à vide se trouvera représentée par deux circuits AB et EF connectés en parallèle lorsque l'enroulement du rotor est fermé. Par contre, le circuit AB reste seul sous tension lorsque l'enroulement du rotor est ouvert. On voit donc, qu'approximativement le courant à vide avec le rotor fermé est le double de celui qu'on obtiendrait dans les mêmes circonstances avec le rotor ouvert.

D'autre part il est facile de se rendre compte qu'en partant du schéma on aboutit au diagramme circulaire de fonctionnement du moteur.

Englobons les réactances branchées en série dans le circuit II (fig. 10) en une seule que nous désignerons par X et négligeons, pour l'instant, la résistance et la réactance du stator, ainsi que la réactance x_2 du rotor. Dans ces conditions nous aurons affaire avec le circuit de la figure 11, alimenté à tension constante $\mathcal{E}_1'$.

Trouvons la valeur de l'admittance y aux bornes

$$\frac{1}{y}=z=R\left(1-\frac{c_r}{c}\right)+\frac{R\frac{c_r}{c}\left[R\left(1-\frac{c_r}{c}\right)+jX\right]}{R+jX}$$

$$=\frac{R^2\left[1-\left(\frac{c_r}{c}\right)^2\right]+RjX}{R+jX}=\frac{R}{R+jX}(R_2+jX)$$

$$=\frac{R_2(R_2+jX)}{R_2+jX\left[1-\left(\frac{c_r}{c}\right)^2\right]};$$

d'où

$$y=\frac{1}{R_2+jX}\left\{1+j\frac{X}{R_2}\left[1-\left(\frac{c_r}{c}\right)^2\right]\right\},$$

$$y=y_2\left\{1+j\operatorname{tg}\varphi\left[1-\left(\frac{c_r}{c}\right)^2\right]\right\}.$$

Digitized by Google

Le diagramme de courant aux bornes du circuit de la figure 11 est donc représenté par une droite $\mathcal{E}'_1 y$ si la tension $\mathcal{E}_2{}'$ est constante. Afin d'obtenir le diagramme définitif il suffira de transporter la tension constante successivement en AB et en A'B' en faisant subir chaque fois au diagramme obtenu une inversion (1). Le diagramme de départ étant une ligne droite, il est évident qu'on obtiendra, en définitive, un cercle.

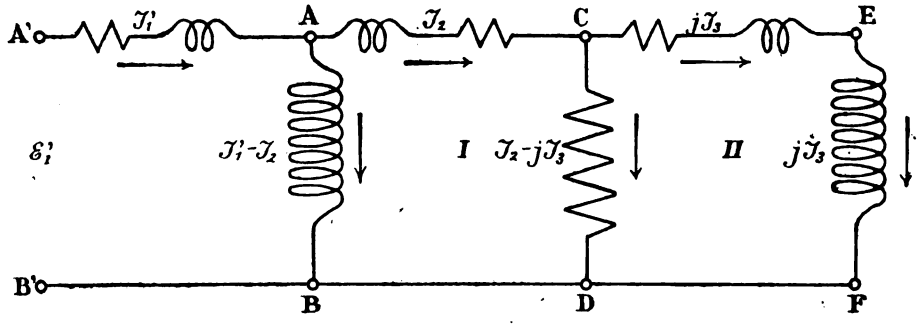


Fig. 10.

Le même système de la figure 10 peut servir à l'établissement d'une formule approchée du couple.

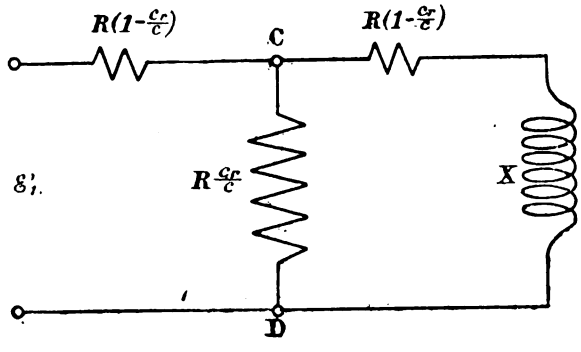


Fig. 11.

En effet en négligeant le circuit CEFD, ce qui suppose négligeable le courant d'excitation nécessaire à la pro-

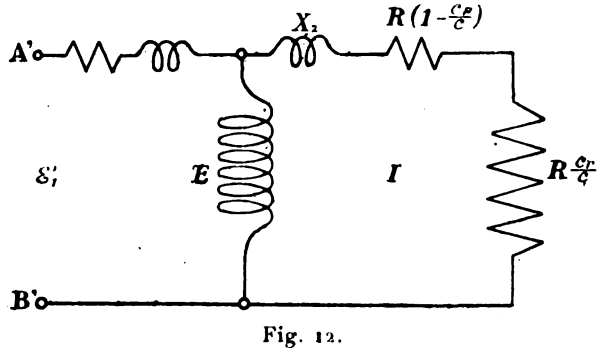


Fig. 12.

duction du champ transversal, on ramène le circuit équivalent à la forme de la figure 12.

Les deux résistances branchées en série s'additionnent

$$R\left(1-\frac{c_r}{c}\right)+R\frac{c_r}{c}=R=\frac{R_r}{1-\left(\frac{c_r}{c}\right)^2}.$$

La puissance mécanique cédée par le rotor est donc

$$P=J^2{}_2\,R-J_2^2\,R_2=J_1^2\,\frac{R_2\left(\frac{c_r}{c}\right)^2}{1-\left(\frac{c_r}{c}\right)^2}$$

En substituant dans cette expression la valeur de

$$J_2=\frac{E_1}{\sqrt{R^2+x_2^2}}$$

et en remarquant que $C\left(\frac{c_r}{c}\right)=P$, on retrouve l'expression connue du couple

$$C=\frac{E_1^2\left(\frac{c_r}{c}\right)\frac{R_2}{1-\left(\frac{c_r}{c}\right)^2}}{\left(\frac{R_2}{1-\left(\frac{c_r}{c}\right)^2}\right)^2+x_2^2}.$$

Convertisseur de phase. — Le schéma général de la figure 7 se rapporte au transfert d'une puissance électrique absorbée aux bornes A',B' sous la tension $\mathcal{E}'_1$ vers l'extrémité opposée du circuit où elle est débitée entre les bornes E'F' à la tension $j\mathcal{E}'_2$. L'ensemble fonctionne comme convertisseur de phase. Si la transformation de la puissance électrique s'opère sans qu'aucun apport ou dépense d'énergie mécanique ait lieu, la vitesse de la machine est très rapprochée du synchronisme. Pour s'en convaincre il suffit d'examiner l'expression du couple dans la forme générale (14). La condition de couple nul ou faible sera réalisée pour des valeurs très faibles du glissement, étant donnée la varia-

(1) Voir l'article paru dans la *Lumière Electrique* et intitulé « Influence de la chute de tension sur le fonctionnement des récepteurs à courant alternatif ».

Digitized by Google

tion très rapide du premier terme aux environs de son passage à zéro pour $1 - \frac{c_r}{c} = 0$.

En conséquence, dans le schéma général de la figure 7, la dérivation CD peut être négligée par suite de la valeur très grande $R\frac{c_r}{c}$ qu'elle contient. On arrive ainsi au schéma simplifié du convertisseur de la figure 13.

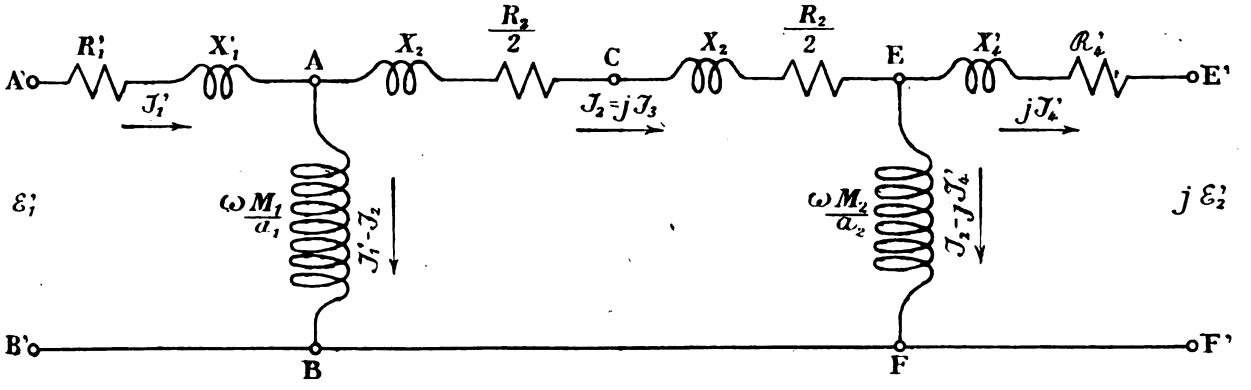


Fig. 13.

Le schéma simplifié du convertisseur de la figure 13 permet de construire pour ce genre de machine le diagramme vectoriel avec la même facilité que celui employé couramment dans l'étude des transformateurs statiques. — On remarquera simplement que les vecteurs représentatifs des intensités et des tensions au delà du point de jonction C devront subir une rotation de 90° par rapport à ceux qui résultent des valeurs des impédances du circuit.

Compteur à induction. — Le fonctionnement d'un compteur à induction présente, comme on le sait, une analogie avec celui d'un moteur à champ elliptique. En assignant aux constantes de ce dernier des valeurs particulières, on obtient une image assez fidèle d'un compteur. Il est, d'ailleurs, douteux, tant qu'on ne saura pas la distribution vraie des courants dans le disque, qu'on puisse arriver à des résultats plus rapprochés de la réalité que ceux obtenus par l'analogie. L'application de la théorie de Fynn à ce problème paraît, d'ailleurs, d'autant plus indiquée que sans exiger de précision sur la constitution des circuits du rotor, elle permet de mettre en lumière quelques particularités dans le fonctionnement du compteur provenant du mouvement du disque.

Comme dans les exemples précédents, nous nous bornerons à des indications d'ordre général sans nous préoccuper des détails de construction et sans tenir compte des dispositifs propres à ce genre d'appareils.

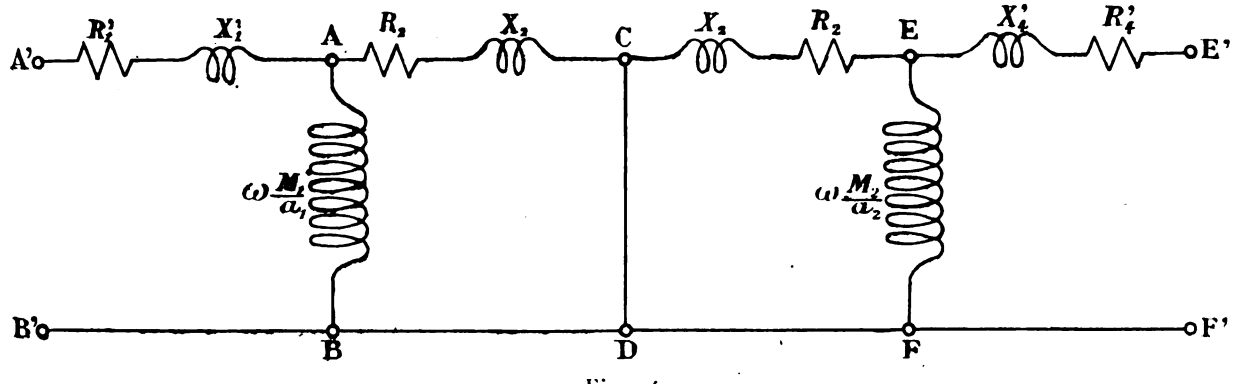


Fig. 14.

Lorsque le compteur est au repos, $c_r = 0$, le schéma général de la figure 6 se réduit à celui de la figure 14 et le couple devient, d'après la formule (14),

$$C = \frac{R_2}{2}\,\frac{4.|E_1E_2|\sin\varphi}{R_2^2 + x_2^2}.$$

La valeur du couple statique est proportionnelle à la puissance $\mathcal{E}'_1 J'_4 \cos\theta$ si, par un moyen quelconque, on rend E_1 proportionnel à $\mathcal{E}'_1$, E_2 proportionnel à J'_4 et $\sin\varphi = \cos\theta$. Cette dernière condition est obtenue par un réglage convenable du compteur au repos en faisant appel plus ou moins à la réaction du disque. En ce

Digitized by Google

moment les courants J_2 et J_3 dérivés dans les circuits ACDB et ECDF ont leurs valeurs maxima.

Lorsque le disque est en mouvement le fonctionnement du compteur en régime normal peut être représenté par le schéma de la figure 15 tenant compte de la petitesse de c_r pratiquement très faible. La valeur du couple correspondant à ce régime peut être tirée de la formule générale (14) en négligeant $\frac{c_r}{c}$ devant 1 :

$$C = R_2 \left\{ \frac{2|E_1 E_2| \sin\varphi}{R_2^2 + x_2^2} - \frac{c_r}{c} \frac{R_2^2 - x_2^2}{R_2^2 + x_2^2} [|E_1|^2 + |E_2|^2] \right\}.$$

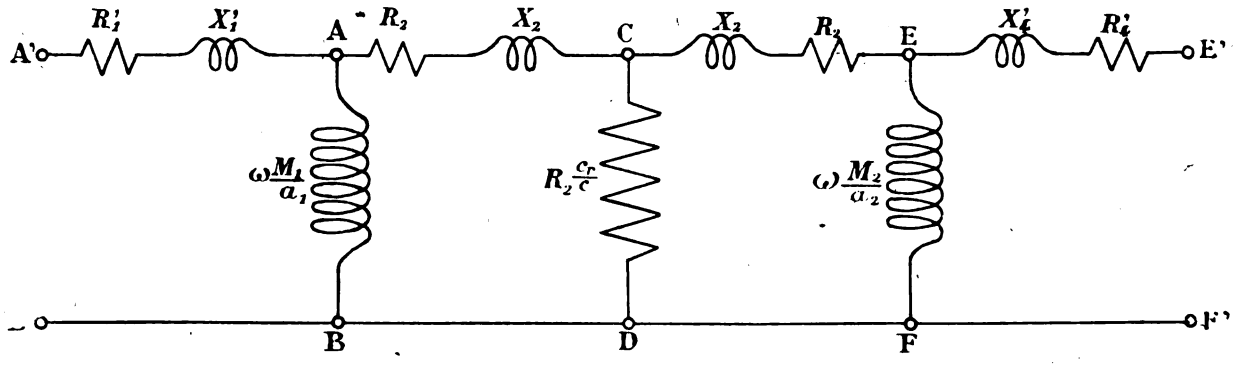


Fig. 15.

La comparaison du schéma 15 avec 14 fait ressortir l'influence de la rotation du disque. L'apparition de la résistance $R\frac{c_r}{c}$ dans le circuit CD modifie la valeur des courants J_2, J_3 et entraîne, comme conséquence, un déréglage de l'angle φ par rapport à sa valeur au repos. Toutes choses égales, d'ailleurs, ce déréglage est d'autant plus sensible que la vitesse du disque est plus grande.

L'expression du couple dynamique contient un terme variable avec la vitesse qui provoque une diminution du couple avec la vitesse lorsque $R_2 > x_2$, comme c'est le cas d'ordinaire. Il est à remarquer que le couple peut être considéré comme constant pour de faibles vitesses de rotation dans le cas où $R_2 = x_2$ condition du couple maximum au démarrage.

W. GENKIN,
Ingénieur du Service électrique
à la Société du Gaz et de l'Electricité de Marseille

Revues, analyses et informations

Analogies entre les équations de l'électrodynamique et celles de l'hydrodynamique.

Les analogies entre les équations de ces deux branches de la science ont été maintes fois signalées et ont été utilisées pour résoudre certains problèmes concernant les fluides au moyen des connaissances acquises en électricité ou réciproquement (1). Une lettre récente à l'Académie des Sciences, due à M. E. Faure (2), appelle de nouveau l'attention sur ces analogies ; nous reproduisons ci-dessous cette note.

Si, à l'encontre des autres forces d'inertie, la force gyroscopique est restée jusqu'ici peu utilisée, c'est parce que les théories actuelles ne donnent qu'une faible idée du caractère mécanique de cette force.

La méthode que nous allons exposer est une sorte d'illustration des effets gyroscopiques dans le but de les rendre plus accessibles à l'imagination. Elle montre que l'action de ces forces sur les fluides est une reproduction matérielle des phénomènes électromagnétiques, et que la théorie des machines gyroscopiques est la répétition de celle des machines électriques.

Un système de canaux contenant un fluide tourne autour d'un axe, lui-même entraîné dans une rotation autour d'un autre axe non parallèle au premier.

Ce double mouvement agit : 1° Sur le fluide, pour modifier son mouvement et produire une pression ; 2° sur les parois des canaux, par des forces susceptibles d'être équilibrées, avec production de travail extérieur.

La force centrifuge composée d'un point de masse m est perpendiculaire à ses deux vecteurs : vitesse relative V et vitesse angulaire H_1 d'entrainement. Sa valeur est donnée par

$$f = 2mVH_1 \sin\omega,$$

ω étant l'angle de ces deux vecteurs.

(1) Rappelons que ces analogies ont été exposées par Henri Poincaré dans ses Leçons professées à la Sorbonne en 1892 sur la « Théorie des tourbillons ». Elles ont été utilisées par M. J. Blondin, pour édifier une théorie tourbillonnaire de l'électrodynamique, dont les principes, exposés dans une série d'articles publiés dans *La Lumière électrique*, premier semestre 1894, t. LII, p. 405, 570 et 608, sont précisément ceux de la théorie connue aujourd'hui sous le nom de théorie de Larmor.

(2) E. FAURE. Sur la force gyroscopique des fluides. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CLXVIII, p. 395-398.

Digitized by Google

Rien n'est changé si l'on substitue au point m un élément de tube infiniment fin, de longueur ds, sans vitesse relative, mais contenant une masse m du fluide circulant à la vitesse V dans le tube. Faisant $m = Kds$, la formule précédente s'écrit

$$f = 2Kds\,H_1 V \sin\omega.$$

Cette expression s'étend à un élément de tube de section quelconque, en le décomposant en une infinité d'éléments parallèles à son axe et de sections infiniment petites. La force gyroscopique résultante est

$$F_1 = \Sigma f = 2C\,ds\,H_1 V \sin\omega.$$

C, masse contenue dans l'unité de tube, est fonction du poids spécifique D du fluide et de la section du tube,

$$C = \frac{DS}{g}.$$

Le produit gCV est le débit en poids i_1 du fluide. On peut donc écrire

$$F_1 = \frac{2}{g} H_1 i_1 ds \sin\omega. \qquad (1)$$

Sous cette forme, l'expression de la force gyroscopique est analogue à celle de l'action d'un champ magnétique sur un élément de courant. Cette action est, en effet, perpendiculaire au plan de l'élément et de la ligne de force qui le traverse, et sa valeur est

$$F = KHi\,ds \sin\omega.$$

La similitude de cette formule avec (1) apparaît complète si l'on assimile le débit i_1 à l'intensité i, la vitesse angulaire H_1 au champ magnétique H, et la constante $\frac{2}{g}$ à la constante K. Le sens de la force F_1 se détermine comme celui de F par la règle des trois doigts.

Cette analogie est vraie quel que soit le fluide, la formule (1) ne dépendant que du débit en poids.

Tout se passe comme si le mouvement de rotation H_1 n'existait pas, en supposant le rotor plongé dans un champ de force uniforme d'intensité H_1, abstraction faite des forces centrifuges ordinaires.

Réciproquement, et dans le seul cas où le fluide est incompressible, l'action du champ sur ce fluide est analogue à celle du champ magnétique sur l'électricité d'un fil conducteur.

En effet, donnons à l'élément de tube un mouvement dans le champ, il en résulte une force gyroscopique perpendiculaire au champ et au mouvement. La projection de cette force sur l'axe de l'élément de tube représente précisément l'action du champ H_1 sur le fluide. La grandeur de cette action est

$$dA = 2CH_1 \frac{ds}{dt} = 2C \frac{d\varphi}{dt}, \qquad (2)$$

où ds est la projection, sur un plan perpendiculaire au champ, de la surface engendrée par l'élément dans le temps dt, et $d\varphi = H_1 ds$ est la mesure du flux de force coupé.

En divisant par S, on a la variation de pression

$$dp = \frac{2C}{S}\frac{d\varphi}{dt} = \frac{2D}{g}\frac{d\varphi}{dt}. \qquad (3)$$

Si le fluide est incompressible : 1° D est constant et la formule précédente se rattache à celle de l'électricité en assimilant la pression à une force électromotrice ; 2° les quantités dp s'ajoutent le long du tube et leur somme est

$$\Delta p = \frac{2D}{g}\frac{d\Phi}{dt},$$

$d\Phi$ étant la somme algébrique des flux de force coupés par le tube dans le temps dt.

Cette action gyroscopique est exprimée en hauteur d'eau par

$$\Delta e_1 = \frac{2d}{g}\frac{d\Phi}{dt},$$

en appelant d le poids spécifique relatif du liquide.

Travail. — Revenons à l'équation (2), on peut écrire

$$dAVdt = 2CVd\varphi = 2\frac{i_1}{g}d\varphi.$$

$dAVdt$ est, en valeur absolue, le travail extérieur élémentaire produit par le fluide dans le temps dt.

Le travail total sera

$$dT_e = \frac{2i_1}{g}d\Phi,$$

expression ne dépendant que du débit en poids.

Si l'on appelle Φ_A et Φ_B les flux traversant une spire déterminée au commencement et à la fin du mouvement, le travail extérieur produit sera, avec les mêmes conventions de signes qu'en électricité,

$$T_e = \frac{2}{g} i_1(\Phi_A - \Phi_B).$$

Le travail extérieur s'exprime donc par la variation du potentiel $i_1\Phi$; il est indépendant de la nature du fluide.

Sur les coups de bélier dans les conduites de diamètre variable.

M. G. Guillaumin vient d'apporter, dans une note à l'Académie des Sciences (1), une nouvelle contribution à l'étude de ce sujet Voici cette note :

I. Considérons une conduite forcée de diamètre variable et soient : y le coup de bélier en mètres d'eau, σ la section, u le débit. En comptant les abscisses positivement de l'aval vers l'amont et les vitesses positivement de l'amont vers l'aval, les deux équations du problème s'écrivent, avec les hypothèses usuelles

$$\begin{cases} g\dfrac{dy}{dx} = \dfrac{1}{\sigma}\dfrac{du}{dt}, \\ g\dfrac{dy}{dt} = \dfrac{a^2}{\sigma}\dfrac{du}{dx}. \end{cases} \qquad (1)$$

Nous proposant, pour l'instant, d'étudier seulement l'effet de la variation de diamètre, nous admettrons que la vitesse de propagation a est constante, ce qui revient à supposer la conduite d'égale résistance.

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 24 mars 1919, t. CLXVIII, p. 605-608.

Digitized by Google

Admettons que la conduite soit tronconique et posons

$$r = r_0 (1 + \mu x),$$

r désignant le rayon au point d'abscisse x, r_0 le rayon au distributeur, μ une quantité qui sera toujours très petite.

On trouve, comme solution générale du système (1)

$$(2) \qquad y = \frac{f'\left(t - \frac{x}{a}\right) - \varphi'\left(t + \frac{x}{a}\right)}{1 + \mu x},$$

$$(3) \quad u = \text{const.} - \pi g r_0^2 \left\{ \mu \left[f\left(t - \frac{x}{a}\right) - \varphi\left(t + \frac{x}{a}\right) \right] + \frac{1 + \mu x}{a} \left[f'\left(t - \frac{x}{a}\right) + \varphi'\left(t + \frac{x}{a}\right) \right] \right\}.$$

Si l'on tient compte des initiales ($y = 0$, $u = u_0$ pour $t \leq 0$) et de la condition à la limite amont ($y = 0$ pour $x = l$, on obtient

$$(2') \qquad y = \frac{f'\left(t - \frac{x}{a}\right) - f'\left(t + \frac{x}{a} - \theta\right)}{1 + \mu x},$$

$$(3') \quad u = u - \pi g r_0^2 \left\{ \mu \left[f\left(t - \frac{x}{a}\right) - f\left(t + \frac{x}{a} - \theta\right) \right] + \frac{1 + \mu x}{a} \left[f'\left(t - \frac{x}{a}\right) + f'\left(t + \frac{x}{a} - \theta\right) \right] \right\},$$

égalités dans lesquelles on a posé $\theta = \frac{2l}{a}$.

Les déterminations successives, pour $t > 0$, de la fonction arbitraire f (identiquement nulle pour $t \leq 0$) sont à calculer, dans chaque cas particulier, en faisant intervenir la condition au distributeur.

II. Le débit et le coup de bélier résultent de deux ondes se propageant en sens contraire en se déformant. Le coup de bélier va diminuant pour l'onde qui se propage dans le sens des sections croissantes et inversement. Le coefficient de variation entre deux sections d'abscisses x_1 et x_2 est évidemment

$$\frac{1 + \mu x_1}{1 + \mu x_2} = \sqrt{\frac{\sigma_1}{\sigma_2}}.$$

Ce résultat concorde avec celui établi par M. Eydoux en envisageant la transmission du coup de bélier dû à une fermeture brusque dans une conduite formée d'un grand nombre de tronçons à caractéristiques progressivement variables (1).

III. On peut se rendre compte d'un autre effet produit par la variation de diamètre en examinant le cas particulièrement simple d'une fermeture brusque du distributeur effectuée dans un temps ε inférieur à θ. Au temps ε, on a, en effet, en désignant par v_0 la vitesse de régime initiale au distributeur

$$\frac{a v_0}{g} = a\mu f(\varepsilon) + f'(\varepsilon).$$

On peut d'ailleurs poser

$$f(\varepsilon) = \delta \varepsilon f'(\varepsilon),$$

δ désignant un coefficient positif, inférieur à l'unité, dont la valeur exacte dépend de la loi de fermeture. D'où

$$y = f'(\varepsilon) = \frac{a v_0}{g (1 + a\mu\delta\varepsilon)}.$$

Le coup de bélier en fin de fermeture brusque dépend donc de la loi de fermeture du distributeur, contrairement au cas des conduites à section constante; il est renforcé quand la conduite est convergente vers l'amont ($\mu < 0$) et atténué dans le cas inverse. Si la fermeture brusque complète est faite dans un temps très petit, on retrouve pour le coup de bélier la valeur bien connue $\frac{a v_0}{g}$.

IV. Si l'on envisage le cas d'une fermeture linéaire, déjà considéré par M. de Sparre, et si l'on suppose également le coup de bélier inférieur à la pression statique, la condition à la limite aval s'écrit

$$(14) \qquad \frac{v_1}{v_0} \lambda(t) \left[1 + \frac{f'(t)}{2 y_0} \right] = 1 - \frac{g}{v_0} \left[\mu f(t) + \frac{f'(t)}{a} \right],$$

avec

$$\lambda(t) = \lambda_0 - kt,$$

λ représentant toujours le rapport entre la surface ouverte actuelle du distributeur et la surface ouverte correspondant à la vitesse de régime maximum v_1.

On trouve aisément pour $0 < t < \frac{\lambda_0}{k}$.

$$y = \frac{a v_0}{g} \frac{\left(1 - \frac{\beta}{\alpha} t\right)^{\frac{\mu}{\beta} - 1} - 1}{\rho_0 \left(1 - \frac{\mu}{\beta}\right)},$$

pour $\frac{\lambda_0}{k} < t < \theta$:

$$y = \frac{a v_0}{g} \frac{(1 + \rho_0)^{1 - \frac{\mu}{\beta}}}{\rho_0 \left(1 - \frac{\mu}{\beta}\right)} e^{\alpha\mu\left(\frac{\lambda_0}{k} - t\right)},$$

avec

$$\rho_0 = \frac{a v_0}{2 g y_0}, \qquad \alpha = \frac{1 + \rho_0}{a}, \qquad \beta = \frac{k \rho_0}{a \lambda_0}.$$

Le coup de bélier en fin de fermeture, c'est-à-dire au temps $\frac{\lambda_0}{k}$, peut s'écrire, sans erreur appréciable,

$$y = \frac{a v_0}{g} \left\{ 1 - \frac{2\mu g y_0}{k v_1} \left[\frac{1 + \rho_0}{\rho_0} \log_e (1 + \rho_0) - 1 \right] \right\}.$$

(1) *Comptes rendus*, 1916, t. CLXIII, p. 265. La note de M. Eydoux contient une erreur de calcul dans le passage à la limite, mais le résultat n'en subsiste pas moins.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

Normalisation des groupes électrogènes à turbines à vapeur

Conditions normales de fonctionnement et d'essai des génératrices et de leurs excitatrices accouplées aux turbines à vapeur.

Dans le précédent numéro ont été publiées, p. 517-527, les prescriptions, élaborées par le Comité technique de la Chambre Syndicale des Constructeurs de Gros Matériel électrique, se rapportant à l'ensemble du groupe ainsi que celles se rapportant spécialement à la turbine à vapeur. On trouvera ci-dessous celles qui sont relatives à la partie électrique. Rappelons que, bien que ces prescriptions soient dès actuellement appliquées par la Chambre Syndicale, leur publication n'est faite qu'en vue d'amorcer entre les groupements intéressés à la question la discussion d'une réglementation définitive.

1. PUISSANCE. — L'essai de la machine est fait à la *puissance de régime*, la température du milieu refroidissant ne dépassant pas 40°C pour l'air et 25°C pour l'eau.

2. COMMENCEMENT DE L'ESSAI. — L'essai ne peut être commencé que lorsque la machine est en équilibre de température avec le milieu ambiant. Ceci est généralement le cas pour les turbo-alternateurs après 24 heures de repos.

3. DURÉE. — L'essai est prolongé jusqu'à ce qu'il soit manifeste que les échauffements et les températures limites ne seront pas dépassés.

4. MESURE DES TEMPÉRATURES. — Les températures des diverses parties de la machine sont déterminées :

1° par la mesure variation de résistance des enroulements ;

2° par thermomètre ;

3° par indicateurs de température (1).

Les températures et échauffements observés par une quelconque de ces méthodes ne doivent pas dépasser les limites spécifiées.

5. TEMPÉRATURE OBSERVÉE. — La température observée est la plus haute température indiquée par le thermomètre ou l'indicateur de température placé à l'endroit le plus chaud d'un organe de machine, ou la température calculée par l'augmentation de la résistance pour les enroulements.

(1) Par indicateur de température, nous désignons des couples thermo-électriques ou des résistances placés en cours de construction à des endroits de la machine inaccessibles à des thermomètres ordinaires.

Les températures observées sont les valeurs données par les méthodes de mesure définies plus bas et relevées sur les machines entièrement terminées et montées. Les limites de températures précisées diffèrent suivant la méthode de mesure et se rapportent aux températures observées en appliquant la méthode spécifiée.

6. ECHAUFFEMENT OBSERVÉ. — L'échauffement observé se déduit de la température observée en retranchant de celle-ci la température ambiante de l'air, déterminée comme il est spécifié ci-dessous.

7. — Lorsqu'une température est à déterminer par résistance, on doit s'assurer au thermomètre, avant l'essai, que la température de l'enroulement n'est pas très différente de la température ambiante.

La température finale de l'enroulement se calcule au moyen du rapport des résistances et de la température initiale, relevée au thermomètre, de cet enroulement.

8. — Les températures des enroulements en court-circuit permanent, celles des organes autres que les enroulements, ainsi que les températures locales les plus élevées en des endroits accessibles quelconques des machines sont mesurées au moyen du thermomètre appliqué sur leur surface.

9. — On relèvera, si possible, les températures en marche et après arrêt et la plus élevée des deux valeurs sera adoptée comme résultat de la mesure.

10. TEMPÉRATURE DU MILIEU REFROIDISSANT. — La température de l'air ambiant est mesurée au moyen de thermomètres répartis autour de la machine, à mi-hauteur, à une distance de 1 à 2 m et protégés contre les courants d'air et le rayonnement direct de la machine.

Digitized by Google

La valeur à adopter dans le calcul d'échauffement est la moyenne des lectures faites à intervalles de temps égaux pendant le dernier quart d'heure de la durée de l'essai.

Pour les *machines à ventilation forcée*, une moyenne spéciale de température ambiante sera employée. La *température de l'air* fourni par les caniveaux sera mesurée à l'entrée dans la machine et multipliée par le coefficient 4; la température de l'air de la salle sera mesurée comme il est indiqué ci-dessus et la somme des deux nombres divisée par 5, sera la température ambiante à employer pour déterminer l'échauffement observé.

La température de l'eau de refroidissement est mesurée au thermomètre, à son entrée dans la machine.

11. Modes de mesure de la température et de l'échauffement d'un organe de machine. — *Alternateurs.* — La température de l'inducteur est déterminée par la variation de sa résistance.

La température de l'induit est déterminée par la variation de la résistance, en tenant compte, dans la mesure du possible, du refroidissement pendant l'arrêt, et par des indicateurs de température (1) placés dans le bobinage pendant la construction comme suit :

1° Deux indicateurs au moins seront placés dans les têtes de bobines aux endroits présumés les plus chauds;

2° Deux indicateurs au moins seront placés entre fer et tubes isolants dans les encoches aux flancs de celles-ci, enfin dans les endroits de la machine présumés les plus chauds;

3° Deux indicateurs au moins seront placés entre les tubes, s'il y a plusieurs tubes par encoche, ou entre cale isolante et tube, ou entre celle-ci et le fer (au fond de l'encoche) s'il n'y a pas de cale isolante de fermeture.

Génératrices et excitatrices à courant continu. — La température de l'inducteur est déterminée par la résistance.

La température de l'induit est déterminée par le thermomètre placé sur l'enroulement à l'endroit accessible le plus chaud quand la méthode par résistance est inapplicable ou inopportune.

Les températures des bagues et du collecteur sont déterminée par le thermomètre.

12. Coefficient de variation de la résistance du cuivre avec la température. — Dans les mesures de températures par résistance du cuivre, on appliquera les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous déduites de la formule : $\frac{1}{234{,}5 + t}$ par degré centigrade, dans laquelle t est la température initiale de l'enroulement.

Température des enroulements à laquelle est mesurée la résistance initiale. Degrés C.	Accroissement relatif de résistance par degré C.
0	0,00427
5	0,00418
10	0,00409
15	0,00401
20	0,00393
25	0,00385
30	0,00377
45	0,00371
40	0,00364

13. Limites de température et d'échauffement. — La puissance de régime est généralement limitée par la température maximum à laquelle les matières de la machine, spécialement celles employées pour l'isolement, peuvent être soumises pendant de longues périodes sans détérioration. Quand ces limites sont dépassées, la détérioration est très rapide.

Quelle que soit la température ambiante, la température maximum ainsi que l'échauffement maximum observables ne devront pas dépasser, lorsque la machine est en service, les limites spécifiées. Quand la limite indiquée pour la température maximum observable est dépassée, l'isolant peut être endommagé. En outre, quand l'échauffement admis est dépassé, sans que la température limite soit atteinte une charge excessive peut être dangereuse et produire des accidents autres que ceux dus à la température. Pour ces raisons, une machine ne devra pas être chargée au-dessus de la puissance de régime.

La température et l'échauffement observables diffèrent de la température et de l'échauffement réels maxima atteints dans les bobines isolées. Suivant les méthodes de mesure, cette différence est plus ou moins grande et il a été nécessaire d'appliquer des corrections pour les diverses méthodes de mesure de la température et de l'échauffement observables (1).

La température et l'échauffement observés pendant et à la fin de l'essai à la puissance de régime ne doivent pas dépasser (toutes les corrections pour méthodes de mesure et tolérances pour erreurs de mesure étant comprises), en aucune des parties de la machine, les valeurs limites du tableau I.

20. Rigidité diélectrique. — *Epreuve de la rigidité diélectrique.* — L'épreuve de la rigidité diélectrique des

(1) Les indications de ces témoins pourront être, lorsqu'il s'agit de couples thermo-électriques, vérifiées comme suit : la température de la « soudure chaude » placée dans la machine, indiquée par le galvanomètre, est maintenue constante par une charge appropriée de la machine. La « soudure froide » est immergée dans un bain d'huile porté à une température telle que l'indication du galvanomètre devienne négative. On laisse refroidir le bain en le remuant constamment jusqu à ce que le galvanomètre revienne au zéro. La température du bain, à ce moment, relevée au thermomètre, correspond exactement à la température de la soudure chaude.

(1) En prenant comme base le chiffre de 90° pour coton imprégné admis par le Comité international électrotechnique pour la mesure par thermomètre, des corrections positives doivent être apportées aux limites admises par la méthode de mesure par augmentation de la résistance et par indicateurs de température qui fournissent une température observable plus approchée de la température réelle que la méthode par thermomètre.

Digitized by Google

TABLEAU I. — *Températures et échauffements limites des machines.*

ENROULEMENTS ISOLÉS A :	LIMITE DE TEMPÉRATURE EN DEGRÉS C		LIMITE D'ÉCHAUFFEMENT EN DEGRÉS C	
	par thermomètre	par augmentation de la résistance ou par indicateurs noyés	par thermomètre	par augmentation de la résistance ou par indicateurs noyés (1)
1° Coton, soie, papier et autres matières textiles similaires.				
a) Non imprégné	80	80	40	40
b) Imprégné ou immergé dans l'huile (2)	90	95	50	55
2° Mica, amiante, micanite et composés analogues dans lesquels des matières textiles ne sont utilisées que pour tenir la structure et pourraient être détruites sans disqualifier l'isolant pour le service continu au point de vue mécanique et diélectrique	115	115	75	75
Enroulements continuellement en court-circuit non isolés	110		70	
isolés	100		65	
Collecteurs et bagues de prise de courant	90		50	
Noyaux de fer	Même que pour les isolants des bobines en contact avec le noyau.			

(1) La température ou l'échauffement observables par des indicateurs logés entre deux bobines dans la même encoche peut atteindre une limite de 5 degrés supérieure à celle indiquée dans le tableau qui s'applique aux indicateurs placés dans des machines, jusqu'à une tension de régime de 5 000 v, entre la bobine et le fer ou dans les têtes des bobines. Pour les tensions supérieures à 5 000 v, la limite observable par les indicateurs placés entre fer et bobines sera abaissée de 1°C par chaque 1 000 v ou fraction de 1 000 v dont la tension de régime dépassera 5 000 v.

(2) Le coton n'est considéré comme imprégné que si ses fibres sont rendues adhérentes entre elles et avec le conducteur au moyen d'une substance appropriée.

isolants aura lieu dans les ateliers du constructeur et, de préférence, aussitôt après l'essai d'échauffements afin que la machine soit à une température voisine de celle de régime. Elle comporte l'application d'une tension entre circuits et masse supérieure à celles qui peuvent se produire en service, même en tenant compte des accidents ordinaires de l'exploitation. L'isolation entre spires de l'induit de l'alternateur sera essayée sur une ou plusieurs bobines parmi celles qui sont en montage.

Cette tension est alternative, d'une fréquence comprise entre 20 et 100 p : sec, d'une forme pratiquement sinusoïdale. La tension entre l'enroulement et la masse est appliquée entre chacun des circuits et l'ensemble de tous les autres et de la masse mise à la terre.

L'application de la tension doit être progressive.

21. TENSION D'ÉPREUVE ET DURÉE DE L'APPLICATION. — Les tensions d'épreuve des machines sont indiquées dans le tableau ci-après.

TABLEAU II. — *Tension d'épreuve des machines.*

NATURE DE LA MACHINE OU CIRCUIT EN ESSAI		TENSION D'ÉPREUVE EN VOLTS
Bobinage induit des génératrices à courant continu et des alternateurs ; bobinage inducteur des génératrices à courant continu avec leur rhéostat, à la masse.	jusqu'à 2 000 v	$2U + 1\,000$
	de 2 000 à 6 000	$2{,}5U$
	au-dessus de 6 000	$2U + 3\,000$
Entre spires des bobines d'alternateurs avant montage		U
Bobinage des excitatrices des alternateurs et rhéostats		$10\,U$ minimum 1 500 v, maximum 3 500 v

La durée d'application de la tension d'épreuve doit être d'une minute

22. MESURE DE LA TENSION D'ÉPREUVE AVEC UN VOLTMÈTRE. — En mesurant la tension avec un voltmètre, celui ci doit être branché de préférence sur le circuit à haute tension, soit directement sur une bobine de tension placée sur le transformateur d'essai, soit enfin sur le secondaire d'un transformateur de tension de précision. Il est permis de mesurer la tension d'une autre façon, telle que dans le primaire du transformateur d'essai, si des corrections peuvent être faites pour les variations dans le rapport de transformation causées par le courant de charge de la machine en essai, ou s'il

Digitized by Google

n'y a aucune variation appréciable de ce rapport.

Dans tous les cas, quand la capacité de l'appareil à essayer est telle qu'elle peut causer une déformation de l'onde, la tension d'essai doit être déterminée par un éclateur ou par un voltmètre mesurant la valeur maximum de l'onde de la tension. Si le voltmètre est gradué pour la valeur maximum, la lecture doit être réduite à la valeur efficace d'une onde sinusoïdale correspondante en divisant par $\sqrt{2}$.

25. Commutation. — Les génératrices à courant continu et les excitatrices doivent fonctionner à calage fixe des balais, sous toutes charges, sans étincelles sensibles. Sous la surcharge momentanée (§ 28), portant le courant à 1,5 fois la valeur normale, elles ne doivent pas manifester d'étincelles destructives.

26. Epreuves mécaniques. — Toutes les machines doivent satisfaire, au point de vue mécanique, aux conditions énumérées ci-après.

Les épreuves destinées à en justifier l'observation n'ont lieu que sur demande expresse et dans les ateliers du constructeur, sauf convention contraire.

Si elles succèdent immédiatement aux essais d'échauffements, on devra veiller à ce qu'elles n'aient pas pour effet de porter les enroulements à des températures supérieures aux limites admises.

27. Excès de vitesse. — Toute machine électrique doit supporter pendant quinze minutes, sans subir de déformation permanente, une vitesse de rotation dont la valeur égale 1,2 fois celle portée sur la plaque signalétique.

28. Excès de couple. — Tout générateur destiné à un service continu doit supporter, pendant cinq minutes, sans subir de déformation, un excès de couple résistant obtenu en portant la valeur de l'intensité du courant à 1,5 fois celle du régime normal, la tension étant maintenue aussi voisine que possible de la normale.

30. Rendement et pertes (1). — Le rendement d'une génératrice est le rapport de la puissance réelle restituée en kilowatts à la somme de celle-ci et des pertes en kilowatts.

Le rendement à toute charge de tout appareil ou de toute machine doit être corrigé pour 75° C, mais les essais peuvent être faits à une température ambiante quelconque, de préférence supérieure à 15° C.

32. Classification des pertes dans les machines. — Les pertes dans les machines peuvent être classées comme il est indiqué dans le tableau III.

Tableau III. — *Classification des pertes dans les machines.*

MESURABLES OU DÉTERMINABLES AVEC EXACTITUDE	MESURABLES OU DÉTERMINABLES APPROXIMATIVEMENT	INDÉTERMINABLES
1° Pertes à vide dans le fer y compris les pertes par courants de Foucault dans les conducteurs, à vide.	3° Pertes par frottement des balais.	6° Pertes dans le fer dues à la distorsion des flux.
2° Pertes par effet Joule dans les bobinages, à vide et en charge.	4° Pertes dans les contacts des balais.	7° Pertes par courants de Foucault dans les conducteurs dues aux flux transversaux occasionnés par le courant en charge.
	5° Pertes dues au frottement dans les paliers et à la ventilation.	8° Pertes dans les dents dues aux fréquences élevées occasionnées dans ceux-ci par la distorsion du flux en charge.
		9° Pertes par courants de Foucault dans les conducteurs dues à la saturation des dents occasionnée par la distorsion du flux principal.
		10° Pertes de court-circuit à la commutation.

(1) La mesure du rendement des machines électriques doit être faite pour déterminer si les chiffres indiqués au constructeur de la turbine sont réalisés par le constructeur électricien. Le rendement garanti au client est limité aux chiffres de la consommation indiqués dans le cahier des charges. La spécification et la méthode d'essai indiquées dans ce chapitre sont strictement limitatives. Les chiffres de rendement de la partie électrique indiqués ne comprennent que les pertes énumérées mesurées par la méthode d'essai spécifiée dans cette partie.

Digitized by Google

33. Evaluation des pertes. — Les plus grandes pertes individuelles peuvent être déterminées soit exactement, soit approximativement, mais certaines sont indéterminables et atteignent des valeurs qui nécessitent qu'on en tienne compte.

34. Pertes a considérer dans le calcul du rendement. — *Génératrices à courant continu avec collecteur :*

Pertes dans le fer (§ 38) ;

Pertes par effet Joule dans tous les bobinages ;

Pertes par effet Joule de contact des balais. Sauf spécification contraire, prendre 2 v comme chute de tension pour balais en charbon et graphite ;

Pertes par frottement des balais ;

Pertes par frottement dans les paliers et par ventilation ;

Pertes dans les rhéostats employés.

Toutes les pertes indéterminables en charge (y compris les pertes supplémentaires dans le fer), qui peuvent être importantes, mais varient avec la construction de la machine, et pour la détermination desquelles on n'a pas encore trouvé une méthode satisfaisante, ne sont pas à considérer dans le calcul du rendement.

35. *Alternateurs synchrones.* — Pertes dans le fer (§ 38) ;

Pertes par effet Joule dans tous les bobinages basées sur la puissance de régime (ou économique) en kilovolts-ampères et le facteur de puissauce de régime normal ;

Pertes par frottement dans les paliers et par ventilation (autoventilation ou ventilation séparée) ;

Pertes auxiliaires dans l'excitatrice lorsque celle-ci est accouplée directement avec l'alternateur;

Pertes dans les rhéostats;

Pertes supplémentaires. Pour évaluer approximativement ces pertes, la méthode décrite dans le paragraphe 41 doit être employée.

36. Détermination ou évaluation approximative des pertes. — *Pertes par frottement dans les paliers et par autoventilation.* — Ces pertes peuvent être déterminées comme suit :

Faire tourner la machine par un moteur indépendant dont la puissance est déterminée convenablement. La machine en essai doit avoir les balais relevés et ne doit pas être excitée. La puissance mesurée représente les pertes par frottement et autoventilation de la machine en essai.

37. *Frottement des balais de collecteurs et bagues de prise de courant.* — On reproduit l'essai défini au paragraphe 36 en mettant les balais en contact avec le collecteur ou les bagues de prise de courant. La différence entre la puissance ainsi mesurée et celle de l'essai (§ 36) est considérée comme représentant les pertes par frottement des balais (1).

(1) Avant de faire cet essai, les surfaces du collecteur et des balais doivent être bien rodées et polies par une marche prolongée.

38. *Pertes dans le fer.* — Les pertes dans le fer sont la différence entre la puissance absorbée par la machine avec l'excitation nécessaire appliquée pour donner aux bornes une tension correspondant à la tension interne calculée pour la charge considérée et la puissance absorbée mesurée à l'essai indiqué aux § 36 et 37

Pour les machines synchrones, la tension interne est égale à la tension normale plus une correction pour la chute de tension par effet Joule seulement.

39. *Pertes dans les rhéostats de champ.* — Elles doivent être comprises dans les pertes des machines, même dans le cas où la machine est excitée séparément.

Ventilation séparée. — Quand un ventilateur séparé fournit l'air de refroidissement de la génératrice, la puissance nécessaire pour son fonctionnement ou, lorsque ce ventilateur est commun à plusieurs machines, la partie de cette puissance afférente à la génératrice considérée, doit être comprise dans les pertes de la machine.

40. *Pertes d'autres appareils auxiliaires.* — Les pertes des appareils et machines auxiliaires communes à plusieurs machines de la même installation, comme, par exemple, une excitatrice de réserve séparée commune à plusieurs machines, doivent être considérées à la charge de l'installation complète dont la génératrice et l'excitatrice forment une partie.

Seules, les pertes des appareils et machines auxiliaires absolument indispensables à la marche régulière de la génératrice considérée, doivent être à la charge de cette machine.

41. *Pertes supplémentaires dans les génératrices synchrones.* — Ces pertes comprennent les pertes dans le fer et les pertes par courants de Foucault dans le cuivre dues à la saturation et à la variation des flux avec la charge.

Les pertes supplémentaires sont déterminées dans les alternateurs polyphasés en faisant marcher la machine en court-circuit à l'intensité de la charge considérée. La puissance mesurée moins les pertes par effet Joule, frottement et ventilation, donne les pertes supplémentaires pour génératrices polyphasées (1).

Ces pertes sont très grandes dans les machines monophasées, mais il n'est pas possible, actuellement, d'indiquer une méthode pour les déterminer (2).

50. Régulation. — *Variation de tension.* — La variation de tension (appelée parfois auto-régulation),

(1) Ces pertes sont parfois beaucoup plus élevées à $\cos\varphi = 0$ qu'au facteur de puissance de la charge, ceci est dû à une inversion du flux dans l'induit aux deux extrémités facilitée par la faible saturation de celles-ci et des frettes magnétiques de l'inducteur. Il est admis, par convention, qu'elles seront considérées comme représentant les pertes supplémentaires à la charge. Il y a lieu de réduire la durée de l'essai au strict minimum nécessaire pour faire la mesure afin d'éviter les échauffements locaux très dangereux.

(2) Des recherches en cours permettraient éventuellement de spécifier prochainement une méthode conventionnelle d'essai.

Digitized by Google

ne concerne que les génératrices et les transformateurs de courants. Il convient de distinguer *l'élévation relative de tension* et la *chute relative de tension*.

1° Élévation relative de tension. — L'élévation relative de tension est la valeur relative de l'augmentation de la tension $(U_v - U_n)$ obtenue en passant du régime normal (puissance et tension de régime) au fonctionnement à vide, par rapport à la tension normale (U_n), c'est-à-dire $\frac{U_v - U_n}{U_n}$.

2° Chute relative de tension. — La chute relative de tension est la valeur relative de la diminution de tension $(U_n - U_c)$ obtenue en passant du fonctionnement à vide et à la tension de régime normal (U_n), au fonctionnement avec les courant et facteur de puissance du régime normal, par rapport à la tension normale (U_n), c'est-à-dire $\frac{U_n - U_c}{U_n}$.

La variation de tension s'entend toujours à vitesse ou fréquence maintenue aux valeurs de régime normal, à la température correspondant à la marche du régime normal et sans rien modifier aux dispositions matérielles des appareils (1).

51. *Fonctionnement en court-circuit.* — Il y a parfois intérêt à spécifier certains éléments dans le fonctionnement en court-circuit d'un appareil.

Le *courant de court-circuit d'un alternateur* est le courant permanent qu'on obtient dans l'induit fermé sur lui-même, lorsque le courant d'excitation est égal à celui qui donne, à *vide*, la tension du régime normal à la fréquence normale (2).

(1) 1° Pour les *machines à excitation séparée* (génératrices à courant continu, alternateurs,...), l'excitation doit être maintenue constante, et l'on spécifie, de préférence, l'élévation de tension. Pour les alternateurs, cette spécification est indispensable ou, à défaut de cette spécification, celle du courant de court-circuit défini au paragraphe 51.

2° Pour les *machines auto-excitatrices* (génératrices à courant continu....), la résistance du circuit d'excitation ne doit pas être modifiée et l'on spécifie, de préférence, *la chute de tension*. Cette indication n'a d'intérêt que lorsque la machine doit marcher en parallèle avec d'autres machines et lorsqu'elle n'est pas munie de régulateur automatique de tension, elle n'est jamais spécifiée pour les excitatrices d'alternateurs.

3° A moins de conventions contraires, les *balais de machines à collecteurs* (génératrices à courant continu ...), sont maintenus dans une position satisfaisante pour le régime normal.

(2) Lorsque le courant de court-circuit est trop intense pour qu'on puisse faire l'essai en toute sécurité, on peut le relever pour une valeur plus petite de l'excitation et extrapoler.

52. *Détermination ou évaluation approximative de la variation de tension.* — Une quelconque des méthodes suivantes peut être employée. Elles sont données dans l'ordre préférable.

1° *Mesure directe.* — La variation de tension peut être mesurée directement en chargeant la machine jusqu'à la *puissance de régime* au facteur de puissance spécifié et en réduisant ensuite la charge à zéro en maintenant la vitesse et l'excitation aux mêmes valeurs qu'en charge.

Cette méthode n'est généralement pas applicable aux essais d'usine et il faut avoir recours aux essais qui peuvent être faits facilement.

2° *Mesures par la méthode de Potier et de Blondel.* — Méthode réservée provisoirement.

60. Marque des machines. — Toute machine doit porter les indications nécessaires pour la définir et permettre son emploi. A cet effet, elle recevra, dans tous les cas, une plaque signalétique.

61. Plaque signalétique. — La plaque portera :

a) Le nom du constructeur et l'indication de son siège social ou du lieu de fabrication ;

b) Un numéro d'ordre de fabrication ;

c) Les indications techniques suivantes, selon la nature de la machine :

62. *Génératrice de courant continu.*

Génératrice C. C. ;
Mode d'excitation ;
Puissance normale en kilowatts ;
Service ;
Tension aux bornes pour la puissance normale en volts ;
Courant en ampères ;
Vitesse de rotation en tours par minute.

63. *Alternateur :*

Nombre de phases ;
Fréquence en périodes par seconde ;
Puissance apparente utile (puissance de régime) en kilovolts-ampères ;
Service ;
Tension aux bornes en volts ;
Courant en ampères ;
Facteur de puissance ;
Vitesse de rotation en tours par minute ;
Excitation en volts et ampères, valeurs maxima.

Digitized by Google

Les alternateurs à haute fréquence

Dans cet article, reproduction d'une communication faite récemment à la Société française des Electriciens (1), *M. Marius Latour décrit les différents types de machines que l'on peut pratiquement envisager pour la génération directe des courants à haute fréquence destinés à l'alimentation des antennes de T. S. F. Il attire plus particulièrement l'attention sur les projets français relatifs à des machines que l'auteur présente sous les dénominations de « machines homopolaires à utilisation partielle de la périphérie » et de « machines à réluctance variable homopolaires ».*

On est arrivé, depuis quelques années, à réaliser industriellement des alternateurs de grande puissance (c'est-à-dire en l'espèce atteignant ou dépassant 100 kw) dont la fréquence propre correspond déjà à celle des oscillations électriques des antennes de télégraphie sans fil. On a pu ainsi établir l'alimentation directe des antennes par des alternateurs sans la complication spéciale d'une transformation quelconque et avec les avantages liés à la transmission par oscillations non amorties. De nombreuses études ont déjà paru sur la question. En particulier M. J. Bethenod a présenté sur le sujet une intéressante conférence au Congrès de Lyon en juin 1914.

Nous nous proposons d'exposer à nouveau quels sont les différents types de machines qui peuvent être réellement envisagés pour la génération de courants à haute fréquence.

Nous ne parlerons pas du procédé suivant lequel on multiplie, extérieurement à l'alternateur, la fréquence du courant débité grâce à l'emploi de transformateurs doubleurs ou tripleurs; nous rappellerons seulement que ce procédé, utilisé par la société allemande Telefunken, et qui consiste essentiellement à saturer le circuit magnétique d'un transformateur par du courant continu pour faire apparaître des harmoniques dans la courbe du courant alternatif primaire, a été étudié en France, pour le deuxième harmonique, par MM. Léonard et Weber et par Maurice Joly (qui a signalé l'intérêt du procédé pour la haute fréquence) et, pour le troisième harmonique par M. J. Bethenod (2). Ce procédé pourra faire l'objet d'une étude séparée. Notre exposé actuel vise uniquement les alternateurs donnant directement, sans dispositif supplémentaire, la fréquence demandée pour l'alimentation des antennes de télégraphie sans fil.

Nous croyons pouvoir classer sous les dénominations suivantes les différents systèmes susceptibles de conduire à une exécution pratique et industrielle :

1° Machines en cascades;
2° Machines à cascades internes;
3° Machines homopolaires à disque;
4° Machines à réluctance variable homopolaires;
5° Machines à utilisation partielle de la périphérie.

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, février 1919, t. IX (3e série), p. 97-115.

(2) Le procédé de M. Bethenod se distingue de celui de Maurice Joly suivant lequel la saturation est produite par le courant alternatif même. Le procédé de Joly s'adapte plus particulièrement à la basse fréquence.

Machines en cascades. — M. le général Ferrié s'intéressait déjà en 1904 à la génération industrielle des courants à haute fréquence, et il nous posa, dès cette époque, le problème d'obtenir des courants de l'ordre de 80 000 p : sec. On avait déjà construit des machines de 10 000 p : sec ; en particulier M. Lamme avait présenté devant l'American Institute of Electrical Engineers, en 1904, les spécifications d'une machine homopolaire dont nous parlerons plus loin et qui, avec des vitesses périphériques relativement modérées, donnait quelques kilowatts à 10 000 p : sec.

La production d'une fréquence de l'ordre de 80 000 p : sec ne nous paraissait guère possible sans l'emploi d'artifices nouveaux et nous songeâmes alors à la mise de plusieurs machines en cascade pour obtenir la fréquence demandée. Ce dispositif est représenté par la figure 1.

Soit, à titre d'exemple, quatre machines à pôles alternés A_1 — B_1, A_2 — B_2, A_3 — B_3, A_4 — B_4, de même

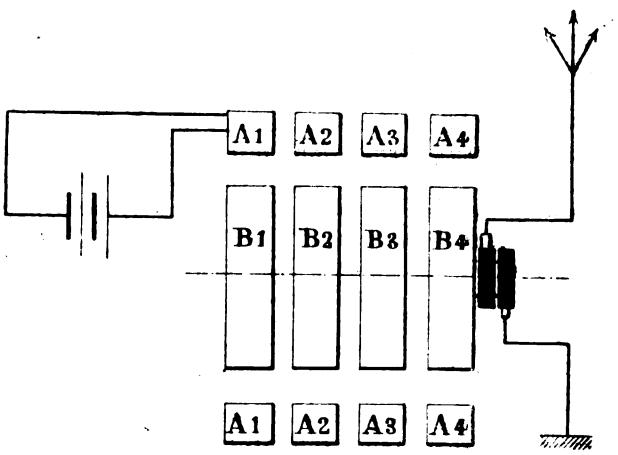


Fig 1.

nombre de pôles, montées sur le même arbre. Les parties fixes et mobiles portent des enroulements que nous supposerons diphasés. La machine A_1 — B_1 étant excitée par du courant continu en A_1 donne des courants diphasés de fréquence f dans B_1. Les courants de fréquence f ainsi obtenus dans B_1 sont recueillis par l'intermédiaire de bagues, non représentées sur la figure, et alimentent des enroulements diphasés disposés sur l'in-

Digitized by Google

ducteur A_2 de la machine $A_2 — B_2$ de façon que le champ tournant ainsi produit se déplace en sens inverse du sens de rotation de l'arbre : les courants obtenus dans B_2 sont alors des courants diphasés de fréquence $2f$. Ces derniers courants sont recueillis à nouveau pour alimenter l'inducteur A_3 de la machine $A_3 — B_3$ de façon que le champ tournant ainsi développé tourne en sens inverse de la rotation de l'arbre : les courants obtenus dans B_3 sont alors des courants de fréquence $3f$. Les courants de fréquence $3f$ servent enfin à alimenter en A_4 la machine $A_4 — B_4$. On arrive ainsi à recueillir dans l'induit B_4 un courant de fréquence $4f$ qui alimente l'antenne. On conçoit immédiatement qu'en multipliant le nombre de machines on arriverait à multiplier la fréquence indéfiniment. Avec n machines, on obtiendra la fréquence nf, f désignant la fréquence propre de chaque machine.

On peut arriver à supprimer la complication des bagues entre les circuits successifs ainsi que les bagues en B_4 en faisant jouer alternativement aux parties fixes et mobiles le rôle d'inducteur et d'induit. Il suffit que, dans la figure, les inducteurs soient A_1, B_2, A_3, B_4 et que les induits soient B_1, A_2, B_3, A_4. Les connexions entre machines peuvent être faites avec interposition de capacités pour annuler la réactance des enroulements. Lorsque nous nous proposâmes une disposition de ce genre, on nous signala des antériorités et nous abandonnâmes la question. Les détails nouveaux que nous apportions, multiplication de la fréquence avec bobinages polyphasés et non monophasés et suppression éventuelle des bagues ont cependant une réelle valeur de réalisation. Quoi qu'il en soit, aucune tentative d'exécution n'avait été faite ni à l'étranger ni en France jusqu'en 1912. A cette date, M. Bethenod construisit le premier alternateur à haute fréquence basé sur le principe de la figure 1. Dans cet alternateur d'essai, chaque machine élémentaire avait une fréquence propre de 6000 p : sec sous la vitesse périphérique de 120 m : sec. Bien que cet alternateur fût construit avec des tôles relativement à fortes pertes pour la haute fréquence (tôles au silicium de 0,25 mm d'épaisseur), M. Bethenod obtint dans une antenne une puissance de l'ordre du kilowatt à la fréquence

$$4 \times 6000 = 24000 \text{ p : sec.}$$

On voit assez facilement les conditions de fonctionnement du système représenté par la figure 1. La première machine $A_1 — B_1$ fonctionne uniquement comme générateur, la deuxième machine $A_2 — B_2$ fonctionne moitié comme générateur et moitié comme transformateur, la troisième machine $A_3 — B_3$ fonctionne au $\frac{1}{3}$ comme générateur et aux $\frac{2}{3}$ comme transformateur, la quatrième machine au $\frac{1}{4}$ comme générateur et aux $\frac{3}{4}$ comme transformateur. D'une façon générale la $n^{ième}$ machine fonctionnerait au $\left(\frac{1}{n}\right)^{ième}$ comme générateur et aux $\left(\frac{n-1}{n}\right)^{ième}$ comme transformateur.

Nous remarquerons que le système des machines en cascade présenterait un avantage particulier pour les très grandes puissances. Supposons, par exemple, que l'on veuille disposer d'une puissance dans l'antenne de 500 kw à 15000 p : sec (1). Cette puissance sera assez difficilement réalisable avec une seule machine d'un type quelconque et, d'autre part, le couplage en parallèle de plusieurs alternateurs ne semble pas devoir encore être envisagé dans le cas de la haute fréquence. On sera donc conduit à coupler *mécaniquement* deux machines entre elles et ceci pourra sembler être une complication.

Avec le système des machines en cascade, on peut, au contraire, constituer plusieurs groupes indépendants. Ainsi on pourra réaliser deux groupes comportant chacun deux machines élémentaires, qui seront prévus pour donner 250 kw à 7500 p : sec. La mise en cascade des deux groupes donnera 500 kw à 15 000 p : sec. On pourra encore réaliser trois groupes comportant chacun deux machines élémentaires, qui seront prévus pour donner 166 kw à 5000 p : sec. La mise en cascade des trois groupes donnera encore 500 kw à 15 000 p : sec.

Machines à cascades internes. — M. P. Boucherot a énoncé en 1893 (voir *La Lumière électrique* du 25 mars 1893, p. 554) le théorème suivant :

« Dans un alternateur à courant alternatif simple et à pôles alternés, l'induit est le siège d'une force électromotrice et d'un courant représentés par une série infinie de termes *impairs* de la série de Fourier et les inducteurs le siège d'une force électromotrice et d'un courant représentés par une série infinie de termes *pairs* de la série de Fourier. »

M. Boucherot a écrit ensuite :

« Les coefficients des courants de fréquences successives vont naturellement en décroissant et décroissent très rapidement à cause de la self-induction des deux circuits qui réduit d'autant plus les valeurs des intensités que la fréquence est plus grande. Mais il ne faudrait pas croire que ce soit un fait inévitable ; il est possible de faire croître les coefficients au lieu de les faire décroître ; il est également possible de les faire croître jusqu'au $n^{ième}$ terme, puis décroître ensuite à l'aide des propriétés remarquables des condensateurs, ce qui permet d'obtenir des courants de fréquence très élevée et de faire des machines donnant toutes sortes de fréquences, mais dont les courants d'une fréquence donnée seraient les plus intenses et pourraient, par con-

(1) La tendance actuelle, conformément à des idées exprimées antérieurement par M. Bethenod, est de travailler avec de grandes longueurs d'onde, c'est-à-dire des fréquences relativement faibles ; ceci d'autant plus que la puissance mise en jeu est plus élevée. Pour 500 kw on peut donc envisager 20000 m de longueur d'onde, soit 15000 p : sec.

Digitized by Google

séquent, être considérés comme courants principaux. »

La machine de M. Goldschmidt, représentée schématiquement par la figure 2, a été la mise en œuvre en 1907 des idées exprimées par M. Boucherot en 1893.

Le stator et le rotor de l'alternateur monophasé à haute fréquence du type Goldschmidt sont indiqués dans la figure par les lettres S et R.

Dans cet alternateur, on met en évidence les fréquences impaires f et $3f$ dans le rotor et les fréquences

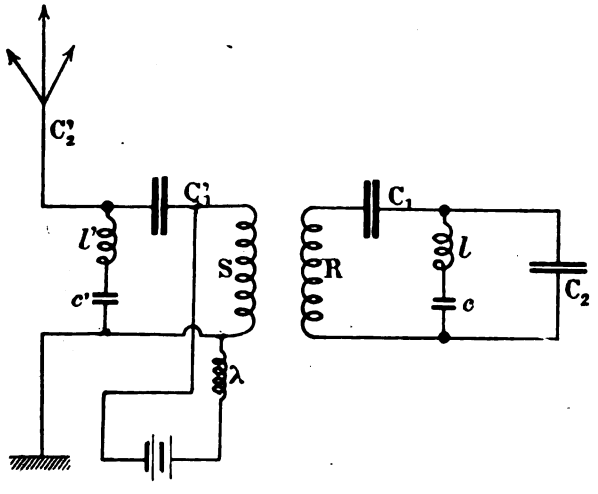


Fig. 2.

paires $2f$ et $4f$ dans le stator ; cette dernière fréquence $4f$ devient à proprement parler la fréquence d'utilisation. Le rotor est fermé sur un système d'inductance et de capacités tel que le rotor puisse entrer à la fois en résonance sur les deux fréquences impaires f et $3f$; dans ce but, la dérivation $l - c$ étant constituée de façon à établir un court-circuit pour la fréquence f, la capacité C_1 est prise de valeur telle qu'elle équilibre la réactance du rotor à la fréquence f, et la capacité C_2 est prise de valeur telle que, combinée avec la dérivation $l - c$ et la capacité C_1, elle équilibre la réactance du rotor à la fréquence $3f$. Sur le stator excité par du courant continu à travers l'inductance de protection λ, on établit un système d'inductance et de capacités l', c', C'_1, C'_2, absolument analogue pour permettre la mise en résonance du stator sur les fréquences $2f$ et $4f$. La capacité C'_2 est, en fait, représentée par le circuit d'antenne.

Cet alternateur Goldschmidt semble avoir séduit les spéculateurs de tous pays et l'on parle volontiers de « l'admirable » machine Goldschmidt. Cependant cette machine ne se distingue pas notablement ni dans son principe, ni dans sa valeur pratique, du système comportant des machines en cascade.

Le courant de fréquence f engendré dans le rotor donne lieu, par rapport au rotor, à un champ alternatif que l'on décompose, suivant le théorème de Fresnel transposé en électrotechnique, en deux champs tournants de grandeur moitié. L'un de ces champs tournants se déplace dans le sens même du sens de rotation du rotor à la fréquence f et développe par suite un courant de fréquence $2f$ dans le stator, suivant le principe même du montage des machines en cascade. Ce courant de fréquence $2f$ donne lieu à un champ alternatif qui se décompose à son tour en deux champs tournants dont l'un tourne en sens inverse du sens de rotation de l'arbre et développe, toujours sur le principe des machines en cascade, un courant de fréquence $3f$ dans le rotor. Ce courant de fréquence $3f$ donne lieu encore à un champ tournant de fréquence $3f$ qui, entraîné par le rotor, donne un courant de fréquence $4f$ dans le stator. En somme, la machine de la figure 2 présente essentiellement la particularité de totaliser en une seule machine l'ensemble des quatre machines en cascade de la figure 1 ; mais la totalisation de plusieurs machines en une seule est sans conséquence au point de vue du rendement et de la puissance spécifique ainsi que nous l'avons déjà démontré (voir *La Lumière électrique* du 22 juin 1912, p. 357).

En effet, considérant les pertes dans le fer, nous pouvons dire : un champ Φ tournant par rapport au fer et à une vitesse quelconque ω dans un sens arbitraire positif ou négatif donne lieu à des pertes p. Ainsi des champs Φ_1, Φ_2, Φ_3 tournant à des vitesses *différentes* en grandeur ou en signe ω_1, ω_2, ω_3, ... donneront lieu, considérés isolément, à des pertes p_1, p_2, p_3, ... Or si tous ces champs tournants différents coexistent, ils donnent lieu à des pertes totales qui sont simplement égales à la somme des pertes $p_1 + p_2 + p_3 + \ldots\ldots$

Considérant les pertes dans le cuivre nous pouvons dire également : un système de courant i engendrant un champ tournant à une vitesse ω dans un sens arbitraire, positif ou négatif, donne lieu, dans des enroulements donnés, à certaines pertes par effet Joule w. Ainsi des systèmes de courant i_1, i_2, i_3, ... engendrant des champs tournants à des vitesses *différentes* en grandeur ou en signe donneront lieu, considérés isolément, à des pertes w_1, w_2, w_3, ... Or, si tous ces systèmes de courants différents coexistent dans les mêmes enroulements, ils donnent lieu à des pertes totales qui sont simplement égales à la somme des pertes $w_1 + w_2 + w_3 + \ldots\ldots$

Si l'on totalise également les pertes de toutes les machines dans une seule, il en résulte très simplement que, pour retrouver le même échauffement, on devra donner à la machine unique la largeur de plusieurs machines mises côte à côte et qu'il n'y aura aucun bénéfice.

A ce propos, remarquons qu'il résulte des considérations ci-dessus, déjà formulées par nous dans « La Lumière électrique » en 1912, que, dans les machines à haute fréquence à pôles alternés ainsi que dans toutes les machines où l'on travaille loin de la saturation, le rendement électrique est indépendant de l'échauffement, c'est-à-dire de la surcharge.

En doublant le flux inducteur et le débit on quadruple les pertes, mais on quadruple aussi la puissance. Le rapport entre les pertes et la puissance débitée reste constant. La puissance volumique est ainsi limitée par la faculté d'évacuation de la chaleur produite. On voit

Digitized by Google

aussitôt l'avantage du refroidissement artificiel. Ce refroidissement est d'autant plus avantageux que les grandes vitesses périphériques admises dans les machines à haute fréquence entraînent de grandes pertes par ventilation qui sont relativement d'autant plus faibles que la puissance débitée est plus grande.

En vue de réduire les pertes par ventilation, nous avons proposé, certainement après d'autres (voir *La Lumière électrique*, 22 juin 1912, p. 356), de tourner sous une pression atmosphérique réduite, mais il y a là une complication qu'il appartiendra à la pratique d'apprécier.

L'avantage de la machine Goldschmidt est de permettre l'emploi d'un enroulement monophasé sur le rotor, mais elle ne donne pas comme le système en cascades l'avantage de la subdivision de la puissance.

Machines homopolaires à disque. — La machine homopolaire ou à fer tournant ne comporte pas d'enroulement sur la partie mobile. C'est là un avantage important dès que l'on envisage des vitesses périphériques élevées. Aussi cette machine a-t-elle été utilisée dès la première heure pour réaliser des fréquences élevées. M. Thury a construit, de 1893 à 1900, un certain nombre de machines homopolaires à 10 000 p : sec (une dizaine environ). Une de ces machines était exposée en 1896 à l'Exposition de Genève (voir *L'Eclairage électrique* du 24 octobre 1896, p. 157). Cette machine était du type homopolaire « à cloche » préconisé par M. Thury à cette époque. L'inducteur tournant comportait 200 projections polaires et tournait à 3000 t : min pour la fréquence 10000 p : sec. A cette fréquence, elle fournissait une puissance de 3 à 4 kilowatts ; sa tension à vide était de 150 v. M. Thury a utilisé, dans ses constructions, des inducteurs pleins et des inducteurs feuilletés.

En 1904, M. Lamme a également construit une machine homopolaire dont il a fait connaître les détails de construction à l'American Institute of Electrical Engineers. Cette machine est du type absolument normal, mais c'est la première fois qu'on voit apparaître des tôles spéciales de faible épaisseur (0,075 mm) dans la construction des machines électriques. Le diamètre de l'inducteur était de 62 cm et la vitesse de rotation de 3000 t : min. La vitesse périphérique était, par conséquent, de 100 m : sec. Il semble qu'en poussant davantage l'excitation de cette machine et en utilisant une capacité en série avec l'induit pour lever la réactance, on aurait pu obtenir une puissance bien plus élevée que celle indiquée par M. Lamme (2 kw).

M. Alexanderson a construit les machines homopolaires sous la forme à disque pour pouvoir admettre des vitesses périphériques plus élevées de 200 à 300 m : sec. La figure 3 représente une machine homopolaire construite suivant Alexanderson. La bobine B donne lieu à un champ continu qui traverse le disque A et l'induit feuilleté C. Le disque porte de part et d'autre des proéminences polaires radiales et l'induit un enroulement dont les conducteurs sont disposés dans des encoches radiales.

M. Alexanderson a d'abord cherché à réduire les pertes par ventilation en disposant des pièces non magnétiques entre les proéminences polaires du disque de façon à réaliser une surface de révolution parfaitement lisse. Il a ensuite transformé ces pièces non magnétiques en pièces conductrices réunies extérieurement entre elles de façon à constituer une cage d'écureuil sur chaque face du disque. Un semblable système

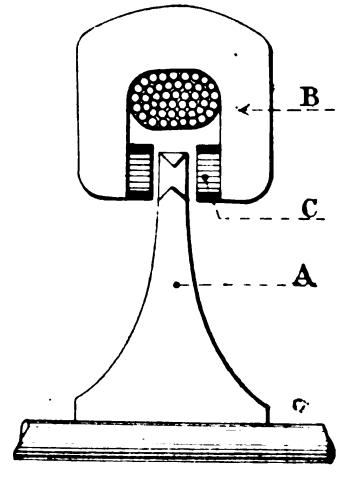


Fig. 3.

amortisseur peut réduire les pertes dues au débit de la machine.

En réalité, on pourrait feuilleter les pièces polaires en les reportant dans des fenêtres établies dans un disque plein en bronze conducteur comme le représente la figure 4. On réduirait de cette façon au minimum les pertes dans la partie mobile.

Il convient ici d'attirer l'attention sur une particularité de la caractéristique à vide des machines homopo-

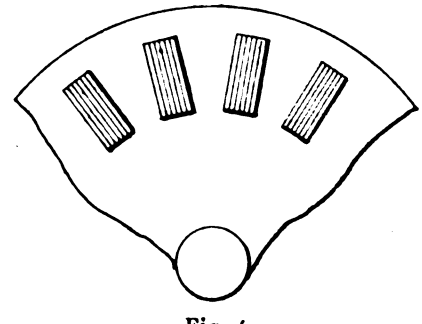


Fig. 4.

laires signalée depuis longtemps (voir par exemple Alexanderson, *P. A. I. E. E.*, 1909, p. 410). Cette caractéristique n'a pas l'allure de la caractéristique à vide des machines à pôles alternés rappelant celle de la courbe d'aimantation du fer, mais bien une allure telle que celle représentée par la figure 5. La tension à vide, après avoir augmenté avec l'excitation, passe par un maximum et décroît ensuite avec l'excitation.

La raison de cette particularité est connue. La satu-

Digitized by Google

ration, en effet, intervient ici pour deux raisons. Elle intervient d'abord à la façon habituelle en diminuant l'accroissement du flux par rapport à l'accroissement d'excitation, et elle intervient ensuite en tendant à effacer les pôles du rotor en quelque sorte, puisque les intervalles vides en arrivent à émettre du flux comme

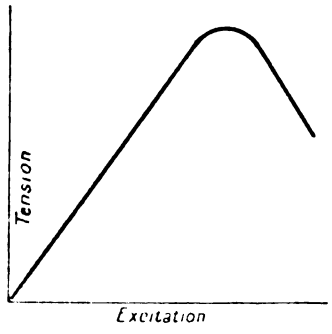


Fig. 5.

les proéminences polaires. La différence d'émission de flux entre les intervalles vides et les proéminences polaires, qui constitue à proprement parler la variation de flux dans la machine, tend donc à disparaître avec la saturation.

L'effet de ces deux raisons combinées est qu'il y a un maximum de tension pour une certaine excitation. Si l'on veut tirer la puissance maximum de la machine, on travaillera près de cette tension maximum qui ne correspondra pas généralement à une variation de flux excessive dans les dents de l'induit. Mais, dans ces conditions, on n'aura plus le droit de dire, comme nous l'avons fait pour les machines à pôles alternés, que le rendement électrique de la machine homopolaire est indépendant de la surcharge. En effet, la surcharge ne pourra cette fois être introduite que par le débit, et le raisonnement simple que nous avons fait ne peut plus s'appliquer. Les pertes introduites ne seront généralement plus proportionnelles au débit et le rendement électrique diminuera avec la surcharge.

Une autre observation qu'il convient de faire sur les machines homopolaires vise les pertes par hystérésis.

Suivant les mesures de M. John D. Ball, rapportées par Steinmetz (Theory and calculation of electric circuits 1917, p. 76), lorsqu'on passe d'une induction $\mathfrak{B}_1$ à une induction $\mathfrak{B}_2$, de façon à obtenir une variation alternative d'induction $\frac{\mathfrak{B}_1 - \mathfrak{B}_2}{2}$, les pertes par hystérésis sont d'autant plus grandes que l'induction moyenne $\frac{\mathfrak{B}_1 + \mathfrak{B}_2}{2}$ est plus élevée. En d'autres termes, le coefficient dit de Steinmetz dépend de la valeur de l'induction moyenne autour de laquelle se fait la variation du flux considérée. La figure 6 donne la valeur de η en fonction de $\frac{\mathfrak{B}_1 + \mathfrak{B}_2}{2}$. On voit d'après cette courbe qu'à l'induction moyenne de 10 000 gauss par exemple les pertes par hystérésis sont multipliées par 2,3 et à 14 000 par 3,5.

On arriverait donc à cette conclusion que, dans les machines homopolaires, les pertes par hystérésis sont

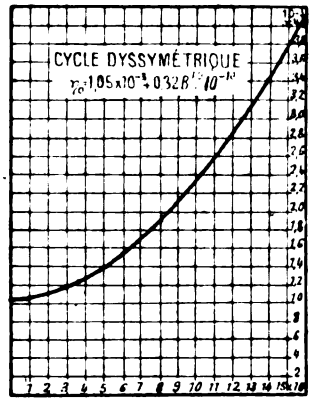


Fig. 6.

plus élevées que dans les machines à pôles alternés, et que la finesse des tôles ou leur teneur en silicium visant à la seule réduction des pertes par courants de Foucault importe moins que dans ces dernières.

Machines à réluctance variable homopolaires.— Une première forme de la machine à réluctance variable est représentée par la figure 7. Elle comporte un enroulement d'excitation sur le stator qui peut, ainsi que M. Bethenod l'a indiqué, constituer en même temps l'enrou-

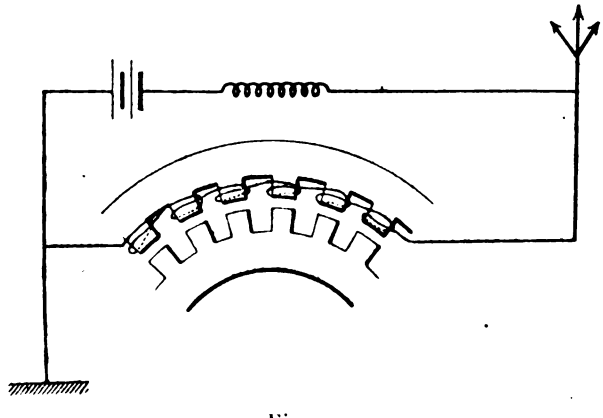


Fig. 7.

lement d'induit à la condition d'intercaler une inductance comme représenté sur la figure.

Lorsque les dents du rotor sont en face des dents du stator, on a un flux maximum dans l'induit ; lorsque les intervalles vides sont en face des dents, on a un flux minimum. On obtient ainsi une force électromotrice qui a la même fréquence que celle d'une machine homopolaire comportan le même nombre de dents ou projections polaires au rotor, bien que le nombre d'encoches sur le stator soit réduit de moitié. Il est vrai que les

Digitized by Google

encoches doivent livrer passage cette fois au courant continu. Le rotor est nécessairement feuilleté puisque le flux varie dans ce dernier.

Dès qu'on envisage une fréquence élevée, les dents du rotor sont fines et rapprochées et les variations du flux effectives dans l'induit sont très faibles par rapport au flux total. Cependant le flux change de signe dans chaque dent rotorique pour la valeur totale du flux, pour un déplacement correspondant à un intervalle polaire; c'est dire que les pertes dans le rotor peuvent être considérablement plus grandes que dans le stator. Le rendement de la machine à impédance variable sous cette forme, devient bientôt très inférieur à celui d'une machine homopolaire dont les proéminences polaires du rotor sont toujours traversées par un flux de même signe.

Mais la machine à impédance variable peut prendre également la forme homopolaire. Il suffit de se représenter une machine homopolaire, entièrement feuilletée parallèlement à l'arbre, dont le stator à encoches ouvertes et sans enroulement comporte un nombre de dents égal au stator et au rotor (voir fig. 8 et 9). On

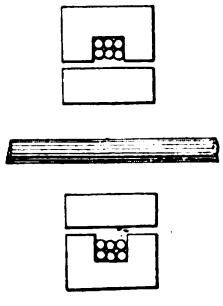


Fig. 8.

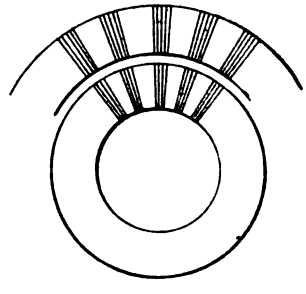


Fig. 9.

remarque aussitôt que la bobine centrale d'excitation est, absolument comme dans le cas de la figure 7, traversée par un flux maximum ou minimum suivant que les dents du stator sont en face des dents du rotor ou que les intervalles vides d'un des organes sont en face des dents de l'autre. Cette fois le flux ne change jamais de signe dans les dents du rotor et l'on a, au point de vue des pertes, tous les avantages de la machine homopolaire.

Théoriquement, comme il n'y a pas de conducteurs à loger dans les intervalles vides du stator, on pourrait exécuter cette machine pour une fréquence quelconque. Si l'on suppose, par exemple, une vitesse périphérique de 150 m : sec, on aboutirait avec des dents de l'ordre du millimètre à une fréquence de près de 100000 p : sec. Mais, en réalité, il faudrait supposer que l'entrefer diminue avec la largeur des dents, ce qui est mécaniquement impossible. On verrait sans peine, en effet, que la réluctance pour les deux positions extrêmes représentées par les figures 10 et 11 devient sensiblement la même dès que la largeur des dents descend à l'ordre de grandeur de l'entrefer. Avec un entrefer de 0,5 mm on peut cependant admettre avec avantage des dents de 2 mm et obtenir directement une fréquence de l'ordre de 40000 p : sec.

Il existe un moyen d'accroître la différence entre le flux maximum et le flux minimum correspondant aux deux positions extrêmes des figures 10 et 11. Il consiste à disposer dans les intervalles vides du stator et du rotor des pièces conductrices faisant fonction d'amortisseur pour le flux émis par les faces latérales des dents.

Dans la position représentée par la figure 10 (flux maximum), une dent émet un flux dans l'entrefer, plus

Fig. 10.

Fig. 11.

deux flux latéraux identiques. Dans la position représentée par la figure 11 (flux minimum), une dent émet quatre flux identiques qui vont de la surface d'entrefer à la face latérale d'une dent.

Considérons l'excitation faite par un courant unité et soient :

Φ, le flux d'entrefer d'une dent dans la position de la figure 10;

φ, un flux latéral émis sur chaque face de dent dans la position de la figure 10;

ψ, un flux allant de la surface d'entrefer à la surface latérale d'une dent dans le cas de la figure 11.

Le flux embrassé par l'induit oscille entre les valeurs $(\Phi + 2\varphi)$ et 4ψ.

Avec des pièces conductrices faisant fonction d'amortisseur, le flux émis par les faces latérales des dents ne pourra pas varier. Du fait des courants d'amortissement, on peut dire qu'il se fixera à la valeur moyenne $\frac{\varphi + \psi}{2}$.

Le flux oscillera donc cette fois entre les valeurs

$$(\Phi + \varphi + \psi) \qquad \text{et} \qquad 2(\varphi + \psi).$$

Si, dans une première approximation, nous supposons d'après les figures, $\psi = 2\varphi$, on trouve que, sans amortisseur, le flux oscille entre les valeurs $(\Phi + 2\varphi)$ et 8φ et que, avec amortisseurs, le flux oscille entre les valeurs $(\Phi + 3\varphi)$ et 6φ.

Dans le premier cas, la variation de flux est $\Phi - 6\varphi$ et dans le second cas $\Phi - 3\varphi$.

On se rendrait compte, par une application numérique, de l'amélioration notable introduite par les amortisseurs.

Au point de vue du débit $I \sin \omega t$, les amortisseurs ont encore un effet très important. Ils diminuent le flux de réaction et les pertes qu'il occasionne. On démontre qu'il n'existe comme flux alternatif de réaction possible que celui qui correspond au flux d'entrefer Φ propre-

Digitized by Google

ment dit. En effet, le flux variable émis par la face des dents est de la forme

$$I\,\frac{\psi+\varphi}{2}\,\sin\,\omega t + I\,\frac{\psi-\varphi}{4}\,[\cos\alpha - \cos(2\omega t-\alpha)].$$

Son caractère alternatif fait qu'il est totalement annulé par les amortisseurs. La partie continue du flux n'occasionne pas de pertes.

Les machines à réluctance variable peuvent donner lieu à une multiplication de la fréquence analogue à celle réalisée dans les machines à pôles alternés par l'alternateur Goldschmidt. Il suffit d'avoir en mémoire le deuxième théorème de M. Boucherot (*La Lumière électrique* du 4 mars 1893, p. 500), à savoir que « dans une machine à pôles non alternés, l'inducteur et l'induit sont le siège de courants représentés par tous les termes pairs et impairs de la série de Fourier ».

Par cette voie, la machine à réluctance variable peut donner les fréquences les plus élevées sans vitesse périphérique excessive.

Ainsi, au point de vue du doublage de la fréquence, le débit d'un courant $I \sin \omega t$ donne lieu à un flux de réaction

$$\frac{I\Phi}{2}\sin\omega t - \frac{I\Phi}{4}\,[\cos\alpha - \cos(2\omega t-\alpha)],$$

qui fait apparaître la tension de fréquence double

$$\frac{\omega I\Phi}{2}\sin(2\omega t-\alpha).$$

Dans une machine à réluctance variable, on peut travailler assez loin de la saturation pour dire encore que le rendement est indépendant de la surcharge comme dans les machines en cascade. Si l'on suppose alors que les pertes électriques à vide dues à la production de la tension v de la machine et celles dues au débit en charge I se superposent simplement par suite de la mise en quadrature du flux de réaction et du flux générateur de la tension v grâce à l'intercalation d'une capacité appropriée en série avec l'induit, on aura manifestement le meilleur rendement lorsque les pertes dues au débit seront égales aux pertes à vide.

En effet, la puissance disponible est égale à $v\,I$ et l'expression des pertes est de la forme $k'\,v^2 + k''\,I^2$ (1).

(1) Il convient de bien remarquer que la disposition d'une capacité en série pour annuler la self-induction totale de l'induit n'est pas celle qui correspond dans tous les cas au rendement optimum. Afin de travailler avec un flux résultant minimum pour une puissance donnée et, par conséquent, avec le minimum de pertes dans le fer pour une puissance donnée, il faut augmenter l'excitation avec le débit et ne chercher à compenser par une capacité que la self-induction due aux fuites. La disposition d'une capacité pour compenser la self-induction se trouve avoir comme conséquence la réduction des pertes dans le cuivre et procure, dans certains cas où l'on se trouve près de la saturation, la possibilité même d'avoir la puissance. Ces considérations se rapportent à toutes les machines à haute fréquence.

Machines à utilisation partielle de la périphérie. — La difficulté que l'on rencontre à construire une machine usuelle à pôles alternés ou homopolaire pour de très hautes fréquences, sans augmenter la vitesse périphérique, consiste dans l'impossibilité pratique où l'on se trouve de loger le bobinage dans les encoches, devenues trop étroites. Ainsi, avec 150 m : sec de vitesse périphérique, le pas polaire est, pour 30 000 p : sec, de 2,5 mm. En réservant 2 mm seulement pour la largeur des dents, il ne reste que 0,5 mm pour l'encoche. Mais on peut alors songer à ne disposer sur une machine qu'une fraction des pôles nécessaires, quitte à combiner plusieurs machines pour distribuer entre elles la totalité des pôles. Ainsi, au lieu d'une seule machine, on peut considérer un système de trois machines I, II, III (voir fig. 12) dans lequel la succession des pôles se fait

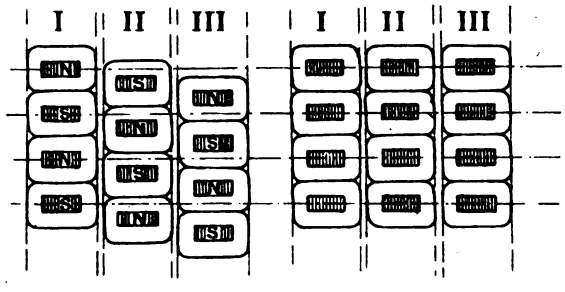


Fig. 12.

en passant d'une machine à l'autre et en omettant deux pôles sur trois dans chaque machine. La place restée disponible par les pôles absents permet alors de loger plus facilement le bobinage. La figure 12, qui représente, à gauche, les rotors et, à droite, les stators de trois machines, est assez explicite à cet égard. Un premier pôle nord étant disposé sur la machine I, le pôle sud suivant est disposé sur la machine II, le deuxième pôle nord est disposé sur la machine III et le deuxième pôle sud revient sur la machine I et ainsi de suite. Dans chaque rotor, on a omis deux pôles sur trois. Dans les trois stators en regard, on a omis également deux dents sur trois.

Cette disposition est générale et s'applique bien aux

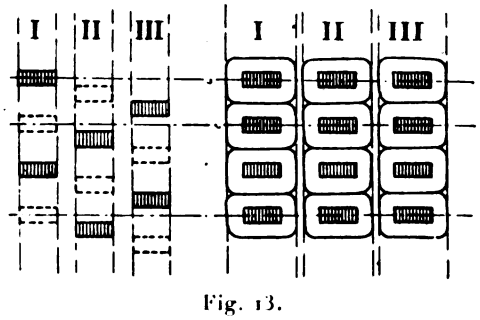


Fig. 13.

machines homopolaires et à la machine à impédance variable non-homopolaire de la figure 7.

Digitized by Google

Dans ces dernières, il n'y a pas de bobinage d'excitation sur le rotor et l'on doit considérer simplement que les intervalles vides remplacent des pôles de signe opposé. La figure 13 se rapporte au cas des machines homopolaires, la figure 14 se rapporte au cas de la machine à réluctance variable de la figure 7.

En réalité, en distribuant aussi simplement les pôles d'une seule machine dans trois machines, on suppose en première approximation que, l'entrefer étant infiniment

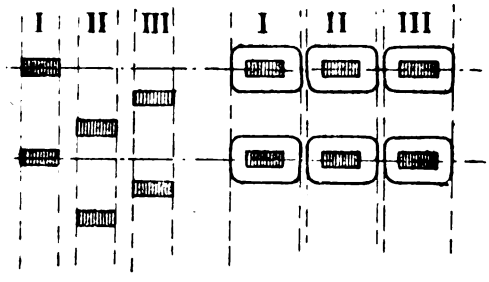


Fig. 14.

petit, le flux émis par chaque pôle inducteur se concentre sur la largeur du pôle dans l'entrefer et l'on néglige le flux qui peut être émis par les faces latérales des pôles dès que ces faces sont dégagées. Or ce dernier flux peut être considérable et, dans ces conditions, on doit dire que, en dehors de la fréquence qui résulte de la combinaison des trois machines, chaque machine donne essentiellement une fréquence fondamentale qui est le 1/3 de la fréquence donnée par leur combinaison. Ceci revient à dire que la disposition de pôles étroits, comme celles représentées sur les figures 12, 13, 14 donne lieu dans chaque machine à l'harmonique 3 et que cet harmonique est mis en évidence par la mise en série de trois machines décalées de $\frac{2\pi}{3}$. L'idée de faire apparaître des harmoniques dans les machines pour obtenir une haute fréquence est ancienne et remonte à Max Wien (1902). L'avantage de l'exposition que nous avons faite a été de nous permettre de préciser tout de suite ce que devait être la largeur des pôles pour obtenir le troisième harmonique.

En réalité, on doit considérer que, dans chaque machine, en dehors des pertes dues à la fréquence harmonique, il y a les pertes provenant de la fréquence fondamentale qui peuvent être beaucoup plus conséquentes.

Mais la disposition de l'utilisation partielle de la périphérie peut n'intervenir que pour le stator si l'on fait glisser les trois machines de la figure 12 dans une seule et, dans ce cas, la fréquence fondamentale disparaît. Les stators se superposent et les rotors décalés s'intercalent les uns dans les autres. Dans le cas de la machine homopolaire et de la machine à impédance variable, on aboutit aux dispositions représentées par les figures 15

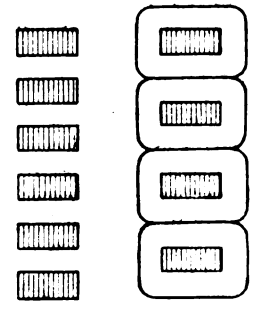


Fig 15.

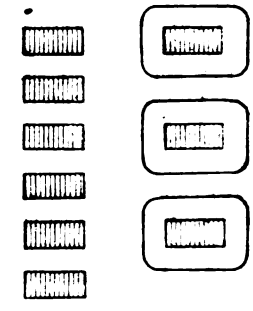


Fig. 16.

et 16. Elles reviennent à établir des machines dans lesquelles la polarité du rotor est triple de celle du stator : la fréquence est alors déterminée par la polarité du rotor.

Les figures 17 et 18 représentent les profils du stator et du rotor dans le cas de la machine homopolaire et de la machine à impédance variable non homopolaire.

M. Bethenod et son assistant M. Billieux ont exécuté

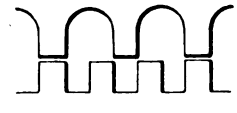


Fig. 17.

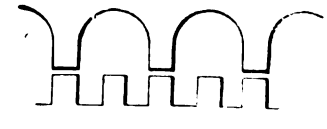


Fig. 18.

des machines homopolaires suivant le principe que nous venons d'indiquer. Le rotor est feuilleté et construit suivant une disposition qui avait été antérieurement prévue pour la machine à impédance variable suivant la figure 7 d'abord préconisée par M. Bethenod.

Les études sur les machines à haute fréquence ont été poursuivies en France pendant la guerre sur la demande du colonel Ferrié, maintenant général, qui s'est toujours intéressé à la question depuis 1904.

Toutes les solutions ont été successivement envisagées et nous avons le sentiment que, à l'instigation de la Télégraphie militaire, cette question a été traitée absolument à fond et presque définitivement dans notre pays.

Marius Latour.

Digitized by Google

Revues, analyses et informations

Projet d'une ligne collectrice d'énergie électrique à travers la Suisse (1).

Il s'agit d'une ligne à haute tension s'étendant du lac de Genève au lac de Constance, par laquelle seraient reliées les usines génératrices les plus importantes. M. Kohler donne à son sujet des renseignements détaillés dont nous extrayons les suivants :

I. — L'utilisation des forces hydrauliques se place depuis plus de 20 ans au premier rang dans l'économie générale de la Suisse. En 1914, la puissance hydraulique utilisée s'élevait à 500 000 ch, alors qu'on estimait à 2 173 238 ch la puissance totale disponible; les usines et leurs lignes de distribution représentaient un capital d'un milliard environ. Si on considère que l'installation de ces 500 000 ch n'a pas duré vingt-cinq ans, on peut dire que la Suisse tient le premier rang dans le mouvement pour l'utilisation des forces hydrauliques. Cependant on constatait, dès avant la guerre, un ralentissement dans cet effort attribuable en partie à la crainte d'une surproduction d'électricité, en partie à la crise subie en 1910 par l'industrie électro-chimique et enfin à l'accaparement par l'Etat d'un certain nombre des meilleures exploitations. Lorsque la guerre vint ajouter ses effets à ces circonstances, il ne fallut plus penser à établir de nouvelles centrales; les usines actuelles suffirent aux besoins, malgré la grande consommation d'énergie causée par la guerre ; l'offre a même dépassé la demande. Cette crise ne fut heureusement que passagère : la pénurie de combustible nécessita le développement rapide de l'électrification dans toutes les branches de l'industrie et l'accroissement annuel des réseaux généraux de lumière et d'énergie peut être évalué à 20 pour 100. En novembre 1917, l'usine établie à Olten-Gösgen par la Société « Motor » pouvait entrer en service et fournir le supplément d'énergie aux usines avoisinantes jusqu au jour de la mise en exploitation des usines du Nord-Est (NOK) et des usines Bernoises (BKW) actuellement en construction à Eglisau, sur le Rhin et à Mühleberg, sur l'Aar. Ces deux dernières devant fonctionner en 1920, on aura donc établi, en 3 ans, 3 grosses installations donnant de 80 à 100 000 ch. En outre, le Grand Conseil du canton de Fribourg a consenti un crédit de 9,5 millions pour la construction d'une centrale sur la Jogne, de 25 000 ch, qui pourrait plus tard monter à 50 000 ch.

Il est manifeste que l'industrie électrique ne doit pas s'occuper exclusivement de la captation de nouvelles forces hydrauliques, mais surtout de la meilleure utilisation de l'énergie produite par les centrales déjà existantes. Du rapport de M. Wagner, de Zurich, (5 juillet 1916) sur ce sujet se dégagent les propositions suivantes :

1° Groupement de toutes les sociétés techniques et industrielles pour la réalisation des projets d'électrification.

2° Formation d'un Syndicat réunissant les plus importantes entreprises de production et de distribution, ayant pour buts : a) l'unification des courants (triphasé), de la fréquence (50 p : sec) et de la tension (50 000 v); b) l'exécution du bouclage des usines entre elles pour permettre le secours mutuel et par suite la réduction du matériel de réserve. Ces propositions reçurent une réalisation dans la fondation par les N. O. K. et les B. K. W. de la « Société suisse de Transport de Force pour la transmission et l'utilisation de l'énergie.

II. — Avant même la fondation de cette société, le besoin de se grouper se faisait sentir dans la plus grande partie des usines suisses et on arriva à la conception d'une grande ligne à haute tension allant du lac de Constance au lac de Genève en suivant à peu près le cours de l'Aar et des lacs de Biel et de Neufchâtel. L'utilité d'une telle ligne est tout d'abord dans la possibilité de répartir les suppléments d'énergie et d'éviter ainsi les usines de secours à vapeur ou à Diesel.

L'étude de la ligne a été commencée au printemps dernier par l'ingénieur Kölliker qui a été chargé des deux tronçons Kalluach-Töss et Kalluach-Genève. Voici quelques détails sur le premier tronçon :

1° Tracé : en partant de l'usine de Kalluach, la ligne traverse le canal de l'Aar près de Bargen, passe par Kappelen pour suivre le vieil Aar pendant 12 km. A Büren elle traverse deux fois l'Aar et une fois le canal, puis longe la voie de Arch à Lüsslingen, oblique vers l'est au sud de Soleure et retraverse l'Aar à Wangen. Elle passe ensuite par Niederbipp, Aarburg, Bonigen, suit la voie de Zofingen Suhr à Safenwill-Köllinken, puis dessert Moriken, Brunegg, Wohlenschwil, Hellingen, Dallikon, Kloten et se termine à la sous-station de Töss.

2° La ligne a une longueur totale de 133,2 km et se tient à une hauteur moyenne de 480 m; elle traverse 115 km de champs, 10,27 km de forêts, 3,89 de marécages.

3° Les portées oscillent entre 340 m et 50 m : les supports au nombre de 720 sont des pylônes en treillis avec isolateurs à chaine;

4° Les conducteurs ont été prévus en aluminium ;

5° Le prix de la ligne avec 6 câbles pour une puissance de 30 000 kv-a serait de 8 500 000 fr soit 64 000 fr : km.

6° Les délais de constructions sont évalués à deux ans.

Selon toutes probabilités cette première moitié de la ligne collectrice (Kalluach-Töss) sera terminée en 1920 ; on ne peut encore préciser la date de la mise en chantiers de la deuxième (Kalluach-Genève).

III. — D'après les statuts de la Société, le rôle de la grande ligne collectrice serait, non seulement de répartir l'énergie entre les différentes usines, mais aussi de permettre la vente en gros de l'énergie électrique.

1° La plupart des entreprises d'électricité avaient des usines thermiques de secours pour le passage des pointes; il a fallu les arrêter par suite de la pénurie de charbon. Le bouclage d'un certain nombre de grosses centrales par la ligne collectrice évitera la création de nouvelles usines thermiques et la réexploitation des anciennes et conduira à une meilleure utilisation de l'énergie hydraulique et à l'exploitation de nouvelles chutes. D'après Härry, le coefficient d'utilisation aurait été de 0,5 en 1912, donc pour une puissance nominale de 1 600 millions de kilowatts-heure, il y a 800 millions de kilowatts-heure inutilisés, et, bien que depuis 1916 ce coefficient se soit amélioré, il reste encore dans les usines de grandes quantités d'énergie non utili-

(1) E. KOHLER. *Technik und Industrie*, année 1918, n°s 20, 21, 23.

Digitized by Google

sées. D'ailleurs le temps de paix rendra encore plus défavorable le facteur d'utilisation, d'autant plus qu'en 1920 les deux centrales d'Eglisau et Mühleberg apporteront leur tribut de 70 000 ch. Sans ligne collectrice, ces usines ne pourraient pas fonctionner à pleine charge.

2° On peut admettre qu'en outre de l'énergie consommée pour l'éclairage, la traction, les moteurs et la cuisine il reste annuellement 12,3 milliards de kilowatts-heure pour le chauffage, l'électrochimie et l'exportation. L'industrie chimique consomme infiniment plus d'énergie électrique que les applications mécaniques ; par exemple, la fabrication des azotates pour engrais demanderait 3 500 000 ch sans interruption. La guerre a donné un essor remarquable aux industries électrochimiques, principalement celles des carbures, engrais, alcool, caoutchouc synthétique, indigo, explosifs, soie artificielle, etc... D'après Härry, la saturation en énergie électrique de la Suisse se produirait dans vingt ans et, à ce moment, sur 2 millions de chevaux de production totale, 950 000 resteront disponibles pour le chauffage, l'électrochimie et l'exportation. L'industrie chimique suffirait à elle seule pour absorber toute cette énergie, à condition qu'elle puisse être fournie à des prix assez bas, en des endroits déterminés ; à ce double point de vue, le rôle de la ligne collectrice sera de la plus haute importance pour le développement de cette industrie jeune et pleine de promesses.

3° L'électrification des chemins de fer est devenue une question vitale pour l'économie générale du pays ; par elle seulement pourra se résoudre la crise des tarifs et celle du charbon. Les chemins de fer fédéraux qui ont d'abord cherché à établir eux-mêmes des usines indépendantes doivent y renoncer : cette méthode nécessiterait plus d'un siècle pour l'électrification complète du réseau. Ils devront donc s'en remettre aux entreprises privées ou cantonales en ayant soin de faire prévoir, dans leurs centrales, l'emplacement pour des machines monophasées. La ligne collectrice facilitera indirectement le transport de l'énergie nécessaire à la traction et l'installation des génératrices monophasées aboutira à une utilisation rapide et complète de l'énergie disponible.

Ainsi le rôle de la Société de Transport d'énergie et de la ligne collectrice fédérale est dans l'organisation rapide des forces hydrauliques utilisables en vue des principaux besoins économiques de la Suisse.

M. D.

L'organisation économique des transports industriels automobiles.

Dans une note à l'Académie des Sciences (1), M. Emile Belot, directeur de la Manufacture des Tabacs de Reuilly, dont nous avons eu l'occasion de signaler un travail (2), examine la question de l'organisation à Paris d'un service de transports industriels par camions automobiles en y appliquant le *principe de continuité*.

« Ce principe, dit-il, conduit à la recherche de la suppression de toute discontinuité dans la circulation des matières à travers la canalisation industrielle, toute discontinuité de vitesse (comme pour un fluide) aboutissant à une perte de rendement. Ici c'est la ville entière qui est l'usine où circulent les matières transportées, les camions n'étant que les organes oscillants de cette circulation dans laquelle doivent être évitées les discontinuités tenant au matériel, aux ouvriers et à l'organisation du travail. »

I. — Application du principe de continuité. — Voici comment M. Belot en expose l'application au cas considéré : Soit R le prix de revient de la tonne transportée : pour que le camion de charge utile C ait l'utilisation maximum, il faudrait qu'il ne fût jamais arrêté, ce qui exigerait théoriquement un nombre n infini d'ouvriers occupés au chargement et déchargement à chaque extrémité de course. Si le nombre n est trop petit, le camion stationne longtemps pour le chargement ou le déchargement : il est mal utilisé. Le problème à résoudre est donc le suivant : *Trouver le nombre d'ouvriers à occuper au chargement et déchargement, tel que le prix de revient R de la tonne transportée soit minimum.*

Ce problème comporte des solutions différentes suivant qu'on transporte ou non tout ou partie des n ouvriers avec le camion afin d'être assuré de trouver à destination la main-d'œuvre nécessaire pour un déchargement rapide. Nous supposerons le cas où tous les ouvriers sont transportés avec le camion, les autres cas pouvant être traités d'une manière analogue.

Soient : K le tarif kilométrique, P le tarif forfaitaire par journée de dix heures en cas de location de camion (K et P pourront toujours être évalués dans le cas où le camion est la propriété du transporteur), p le salaire journalier d'un ouvrier, et T le nombre de tonnes chargées et déchargées à l'heure par chacun d'eux. On aura, N étant le nombre de voyages aller et retour comportant chacun B kilomètres en moyenne,

$$R = \frac{BK}{C} + \frac{P + np}{CN}. \qquad (1)$$

A Paris, en moyenne, un voyage aller et retour dure une heure. On a donc

$$(10 - N)\, nT = CN. \qquad (2)$$

Portant dans (1) la valeur de N tirée de (2), on a

$$R \text{ égale } \frac{BK}{C} + \frac{(P + np)\,(nT + C)}{CnT}. \qquad (3)$$

La relation entre R et n est hyperbolique ; le minimum de R correspond au nombre d'ouvriers n_1 :

$$n_1 = \sqrt{\frac{P}{p}\,\frac{C}{T}}.$$

A la Manufacture des Tabacs où fonctionnent ces transports automobiles, on a $C = 2{,}5$, $T = 1{,}25$, $p = 10$ fr, $P = 80$ fr ; d'où $n_1 = 4$ ouvriers.

Si les ouvriers chargent et déchargent sans être transportés avec le camion, il suffit de supprimer dans (3) le terme en n^2 ; dans ce cas, il semble que n doive être aussi grand que possible pour diminuer le prix de revient, mais, en pratique, les ouvriers se gênent dès que $n \geqslant 5$.

II. — Organisation du service. — Au début de l'organisation du service, on ne faisait voyager qu'un ouvrier avec

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 24 février 1919, t. CLXVIII, 424-426.

(2) Principes généraux de l'organisation systématique des machines et de l'Industrie. *R. G. E.*, 28 janvier 1919, p. 23. D.

Digitized by Google

chaque camion ; c'est l'analyse des conditions à remplir qui a conduit à en faire voyager deux et à leur en adjoindre deux autres à chaque chargement ou déchargement. En fait, on a pu réduire le prix de revient *R* au tiers de ce qui était demandé par les entreprises automobiles privées et, en outre, on a abouti à l'organisation pratique suivante :

Personnel. — Une cause fréquente de stationnements réside dans les formalités et démarches à faire dans les gares, à l'octroi, aux services de batellerie, ainsi que dans l'obstruction faite par les camionneurs ordinaires habitués à se présenter par séries dans les établissements destinataires. On a paré autant que possible à ces difficultés au moyen d'un convoyeur ayant autorité sur le conducteur et les ouvriers transportés et intéressé à multiplier le nombre de voyages (*prime par voyage*). D'un autre côté les ouvriers ont une *prime à la tonne* transportée. Cette double prime accélère beaucoup le service.

Matériel. — Les camions automobiles actuels ont une capacité de chargement prévue pour des matières pondéreuses (charbon, métaux, bois, papiers, farines), mais très insuffisante pour les matières ouvrées (tels que les produits fabriqués par la Régie). Sur un camion de 2,5 t, on ne peut guère charger que 1,5 t de ces produits. On peut parer à cette difficulté de plusieurs manières : 1° Diminuer le tonnage brut à transporter en supprimant les caisses exigeant un retour onéreux de colis vides et ne laissant que les colis en vrac à transporter; 2° augmenter par des abattants ou des hausses mobiles la capacité des plateaux des camions; 3° employer des remorques qui ont l'inconvénient d'être très encombrantes et de ne pouvoir facilement accoster un quai.

La meilleure solution pour éviter, d'après le principe de continuité, de longs stationnements au moment du chargement et du déchargement consisterait dans l'emploi d'un plateau mobile sur rouleaux et chargé d'avance que l'on roulerait en moins d'une minute sur le plateau du camion et qui pourrait être enlevé avec la même rapidité à l'arrivée.

III. — Comparaison avec le camionnage hippomobile. — Dans les transports urbains ce camionnage a une vitesse moyenne moindre que celle du camionnage automobile. Sa lenteur se transmet au camionneur qui perd la notion du temps et de la vitesse. Une autre action réflexe organique agit dans le même sens : le moteur animal ne s'alimente que pendant les arrêts, le moteur à pétrole que pendant la marche. Le camionneur a donc pris l'habitude vicieuse et séculaire de s'immobiliser comme ses chevaux. Enfin le camionnage hippomobile contrevient au principe de la division du travail et de la spécialisation des ouvriers : en raison de sa lenteur, il ne pouvait être question de faire voyager avec le camion les hommes de peine nécessaires aux manutentions aux extrémités de course. Voilà comment les camionneurs se transforment en hommes de peine et, pour faciliter le travail de manutention, se forment en groupes inséparables.

Tous ces errements néfastes se sont transmis au camionnage automobile : on peut citer des compagnies dont les camions automobiles se présentent par trois ou par six dans des établissements où, faute de place ou de personnel, on ne peut en décharger qu'un ou deux à la fois : d'où une stagnation prolongée.

Au moment où sévit avec intensité la crise des transports, on voit que le camionnage automobile est loin de réaliser une organisation scientifique économisant le personnel et le matériel.

L'électricité en agriculture (1).

Divers systèmes de labourage électrique ont été proposés récemment, mais chaque système semble avoir été conçu dans l'idée que le seul point important consiste à assurer une traction suffisante sur la charrue et sauf qu'on substitue un moteur électrique à la machine à vapeur, les systèmes imaginés ne diffèrent que très peu du système Fowler.

Dans l'application de l'électricité à l'agriculture, il ne faudrait pas oublier que l'objet principal est l'agriculture et non l'emploi de l'électricité et qu'un point essentiel est un bon drainage.

Le système intéressant imaginé par C.-F. Cooke, comprend des voies à rails installées en permanence, parallèlement l'une à l'autre, sur des côtés opposés de la surface à cultiver, les voies servant au déplacement des moteurs électriques par lesquels peuvent être effectuées toutes les opérations de halage nécessaires, depuis le drainage et le labourage du sol jusqu'à l'enlèvement des récoltes et le transport des produits.

Ces voies servent à trois objets distincts : 1° elles constituent les drains principaux ; 2° elles forment les supports pour les moteurs mobiles ; 3° elles constituent un chemin de fer à voie étroite pour le transport des semences des engrais et des récoltes. La distance entre les voies peut atteindre un demi-mile, mais, autant que possible, cette distance doit être uniforme. Quand le sol est légèrement ondulé, on peut réaliser le nivelage de la voie en prenant les supports plus ou moins longs.

La voie est constituée par deux rails d'acier, dont la section est en forme de L, fixés à la partie supérieure des supports en forme de A de préférence en acier ou en fonte bétonnée; la partie inférieure des supports est enterrée dans une fondation convenable qui forme aussi le drain principal ; deux rails plus légers sont fixés au support près du sol, et servent à maintenir la verticalité du chariot. Les supports se projettent à 1,20 m au-dessus de la surface du sol; une rainure est ménagée, entre les deux rails, dans laquelle sont logés les deux rails conducteurs, montés sur des isolants convenables.

Chaque voie sert à la fois de support horizontal et latéral pour un tambour d'enroulement pouvant se déplacer le long du rail à mesure que la culture avance, et muni d'un frein grâce auquel il peut être fixé sur rails pendant le halage.

La traction des appareils s'effectue au moyen d'un câble dont la longueur dépasse légèrement deux fois la distance entre les voies, les deux extrémités du câble étant fixées aux appareils, tandis que le câble lui-même est entraîné à travers le champ et bobiné deux fois et demi autour de chaque tambour. De cette manière on élimine la nécessité de bobiner le câble également autour des tambours, en même temps qu'on assure une traction beaucoup plus rapide et plus uniforme et une durée plus grande du câble. On applique aussi la puissance en deux points du câble simultanément ce qui assure un coefficient d'utilisation supérieur de 50 pour 100 à celui d'un appareil qui est inutilisé la moitié du temps, en même temps que le système est rendu plus léger. Tous les instruments sont à deux bouts, c'est-à-dire peuvent fonctionner quand ils se déplacent dans deux sens opposés, et comme on peut les mouvoir en ligne droite jusqu'aux voies, on n'a pas à perdre de temps à les retourner et il n'existe pas

(1) *Electrical Review*, Londres, 10 janvier 1919, t. LXXXIV, p. 39. 1 000 mots, 2 fig.

Digitized by Google

de larges fourrières à travailler ultérieurement. Le poids total appuyant sur le sol est celui de l'outil seul et il n'y a pas de palan à mettre ou enlever, ni de transport d'eau ou de combustible.

On peut utiliser soit du courant alternatif, soit du courant continu et quand on emploie le courant continu, on peut alimenter directement par les rails, si leur longueur totale ne dépasse pas un ou deux miles. Si la longueur totale du rail est trop grande ou si le courant est intense, on peut alimenter au moyen d'un câble isolé; les rails sont divisés en sections et reliés au câble d'une manière appropriée, des boîtes de distribution convenables étant disposées dans les supports du rail. Avec du courant sous 500 v, on utilise des moteurs série commandés par des combinateurs et des rhéostats du type de ceux en usage dans les tramways ordinaires.

Quand la longueur totale du rail est très grande et que la charge est lourde, le courant monophasé présente un certain nombre d'avantages. Un câble isolé à haute tension peut être disposé à l'intérieur des supports; à intervalles convenables, on pratique des prises allant à des transformateurs qui réduisent la tension à 350 v, valeur sous laquelle on effectue l'alimentation des rails. Avec ce système, il faut employer des moteurs à collecteur monophasés, commandés par des combinateurs et des auto-transformateurs du modèle utilisé dans les tramways.

Le courant triphasé présente des avantages analogues à ceux du courant monophasé, dans les transmissions sur de

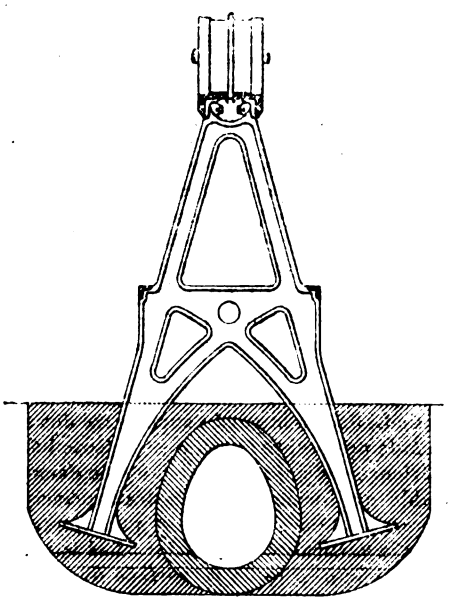


Fig. 1. — Coupe verticale du support de la voie et du drain en béton armé.

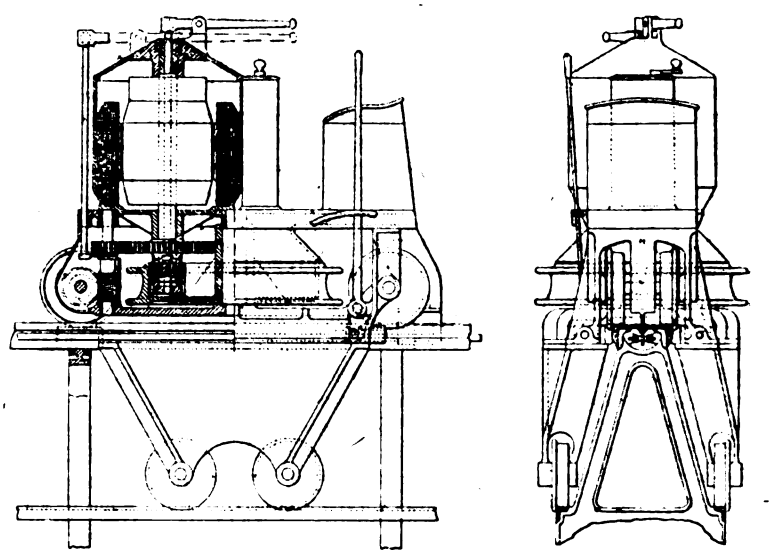


Fig. 2. — Coupe latérale et vue terminale du chariot.

grandes distances, mais il nécessite au moins deux rails conducteurs, un retour à la terre et deux séries d'isolateurs.

L'adoption de ce système à voie élevée permettrait non seulement d'édifier l'agriculture sur une base plus stable et d'un meilleur rendement, comme toute application de l'électricité à la machinerie agricole, mais en même temps fournirait un moyen permanent de drainage du sol et de transport des récoltes,

Le drainage du sol peut être effectué facilement au moyen d'une machine de drainage dont la traction, à partir des voies, s'effectue par les mêmes moteurs qui servent à la traction de la charrue, le drain principal en béton armé étant accompagné de drains dérivés dans lesquels se déversent les canaux de drainage.

L'auteur évalue la dépense pour l'installation du système précédent à 30 livres sterling, par acre, moyennant quoi non seulement on effectue le drainage du sol, mais encore on élimine les frais de construction et d'entretien des haies, des fossés, des routes, etc. A. B.

Calcul des transformateurs tenant compte des prescritions légales (1).

Le 1er janvier 1917 est entrée en vigueur une loi fédérale d'après laquelle les appareils de mesure électriques et leurs transformateurs sont soumis à un essai et à un poinçonnage officiels. Les transformateurs doivent satisfaire aux conditions suivantes : 1° la surcharge du circuit secondaire doit pouvoir être supérieure à 10 v-a; 2° entre 10 et 100 pour 100 de la charge nominale, le rapport de transformation doit rester constant à 1 pour 100 près; 3° le décalage entre le courant primaire et le secondaire ne doit pas excéder 1 grade.

L'auteur expose comment doivent être conduits les calculs d'avant-projets pour tenir compte de ces prescriptions afin de réduire, autant que possible, la main-d'œuvre et la matière première. — M. D.

(1) E. Wirz. *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, janvier 1919, t. x, p. 13-25, 5 000 mots, 9 fig.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Les travaux du Conseil supérieur des Travaux publics (1)

Le Conseil supérieur des Travaux publics a été institué par le décret du 9 septembre 1917; il comprend, outre les inspecteurs généraux et les directeurs de l'Administration centrale qui forment le Conseil général des Ponts et Chaussées, des membres du Parlement, du Conseil d'Etat, des hauts fonctionnaires des autres départements ministériels, ainsi que des représentants qualifiés du commerce et des industries se rattachant aux Travaux publics. L'introduction de techniciens et d'hommes d'affaires dans le Conseil a donné les meilleurs résultats.

Des innovations intéressantes ont concerné la procédure d'instruction des affaires soumises au Conseil : les intéressés, chambres de commerce, représentants des sociétés industrielles ou commerciales, promoteurs de propositions ou projets, etc., sont consultés par le Conseil ou ses commissions; le Conseil a été muni du pouvoir de procéder directement à des enquêtes, enfin il a qualité pour prendre l'initiative de toutes propositions relatives à l'amélioration et à l'administration des voies de communication ainsi qu'à la création, l'aménagement et la distribution des forces motrices.

Le Conseil supérieur des Travaux publics est divisé en assemblée plénière à qui est réservé l'examen des questions d'un caractère général et des affaires d'espèce particulièrement importantes et en quatre sections (voirie routière et distributions d'énergie électrique, navigation et aménagement des eaux, ports maritimes, chemins de fer) qui, chacune dans leur spécialité, traitent des affaires d'espèce. Les affaires de cette dernière catégorie sont examinées par deux ou plusieurs sections réunies lorsqu'elles touchent à plusieurs spécialités.

Enfin, un arrêté du 18 novembre 1918 a institué un service d'études qui a pour mission de procéder à l'examen des questions générales et de réunir la documentation française et étrangère concernant les travaux publics.

Affaires examinées par l'assemblée plénière. — Nous ne citerons seulement que quelques-unes des affaires soumises à l'assemblée plénière depuis la création du Conseil supérieur.

Le Conseil a étudié un projet de loi relatif aux ressources à affecter à l'établissement et à l'amélioration des voies navigables et des ports maritimes.

Ce projet, amendé par le Conseil, est actuellement soumis au contre-seing des ministres intéressés.

Il en est de même pour un projet de loi relatif à la revision de la loi du 5 janvier 1912 sur le régime des ports maritimes de commerce.

Le Conseil a signalé également l'opportunité d'appliquer temporairement une majoration de 25 pour 100 des tarifs sur les grands réseaux de chemins de fer.

Un projet élaboré par l'Administration pour maintenir à titre définitif les travaux publics exécutés pendant la guerre a été soumis au Conseil supérieur, le texte sorti de ses délibérations vient de faire l'objet d'un rapport favorable de la Commission des Travaux publics à la Chambre des députés.

Outre ces différents projets, le Conseil a eu à étudier un certain nombre de questions d'importance considérable.

Amélioration des relations entre la Suisse et les ports de l'Océan. — Après une étude approfondie au cours de laquelle ont été entendues de nombreuses personnalités intéressées, le Conseil a proposé le programme suivant :

En ce qui concerne les ports maritimes, exécution aussi rapide que possible des travaux déclarés d'utilité publique pour les ports de la Gironde et la Rochelle-Pallice et continuation des études en cours pour le port de Saint-Nazaire.

En ce qui concerne les voies ferrées, établissement d'une ligne nouvelle à profil facile entre Limoges et Saint-Germain-des-Fossés.

Et comme mesure transitoire, amélioration de l'itinéraire actuel des express de Bordeaux à Lyon, notamment par l'électrification de certains tronçons, par des renforcements et des doublements des voies et par la suppression de rebroussements.

Unification et reconstitution du matériel fixe des grands réseaux de chemins de fer. — Le Conseil supérieur a présenté des propositions, auxquelles les circonstances actuelles donnent un intérêt tout spécial, relativement à l'unification des types de matériel fixe (rails, traverses, etc.) des grands réseaux et à l'évaluation de leurs besoins pour la période de 1919 à 1923 et celle de 1923 à 1933.

Ces propositions ont eu pour objet principal de renseigner l'industrie métallurgique sur l'importance des commandes qu'elle aura à satisfaire et de la mettre à même de s'outiller en conséquence.

Unification et reconstitution du matériel roulant des grands réseaux de chemins de fer. — Un travail analogue a été établi en ce qui concerne les commandes et l'unification des types pour le matériel roulant, locomotives, voitures et wagons. Le Conseil, à cette occasion, a été amené à signaler l'opportunité de la création, par les grandes compagnies de chemins de fer, d'un bureau commun d'études et l'utilité d'une centralisation des commandes; l'objet de ces mesures est de réaliser la standardisation des types de matériel roulant, et de favoriser les conditions d'organisation et de fabrication de l'industrie française, qui, depuis longtemps, a fait entendre des plaintes au sujet de la diversité des types des compagnies et de l'irrégularité de leurs commandes.

Affaires examinées par les sections. — Etant donné le nombre des questions d'espèce examinées par les sections, on ne peut citer que quelques-unes des plus importantes :

(1) Nous donnons dans ce qui suit une analyse sommaire d'un rapport présenté par le Ministre des Travaux publics et des Transports au président de la République. Ce rapport a été publié dans le *Journal officiel* du 3 février 1919, p. 1282.

Digitized by Google

Les programmes d'extension des ports de Dunkerque, de Caen, de Bône, de Port-de-Bouc et d'Alger.

Le projet d'amélioration du Port-Vieux à Marseille.

L'établissement de gares d'eau à Mâcon et à Châlon-sur-Saône, raccordées aux voies ferrées du réseau Paris-Lyon-Méditerranée.

Le projet de construction d'une gare maritime, dite de Mirabeau, au port de Marseille.

Les projets de reconstruction des ponts de l'Alma, de la Tournelle et de Corbeil sur la Seine, pour l'amélioration de la navigation, etc.

En particulier, la deuxième section a eu à délibérer sur huit projets d'aménagement de chutes d'eau sur la Garonne, l'Ain et la Durance, de puissances variant de 2 000 à 33 000 ch et formant un total de 155 000 ch qui correspond à une consommation annuelle de 750 000 t de houille.

Travaux des Comités d'études. — Actuellement, le nombre des Comités d'étude est de trente-trois, il pourra en être constitué de nouveaux si les besoins s'en font sentir. Leur rôle est d'étudier les grands travaux publics destinés à améliorer la vie économique du pays. Ils examinent les programmes tant au point de vue technique qu'au point de vue économique, établissent les plans d'exécution et les prévisions budgétaires qui permettront un aménagement satisfaisant des ressources disponibles, éviteront les lourdes charges des intérêts moratoires et assureront l'utilisation des travaux dans les moindres délais.

Nous examinerons rapidement ce qui a été fait par ces comités.

a) Voirie routière. — *Routes*. — Ce Comité a pour but d'étudier les mesures à prendre pour la reconstitution des chaussées, l'emploi de revêtements spéciaux pour certaines routes déterminées, l'organisation des services d'entretien et l'emploi de nouvelles méthodes pour cet entretien, la signalisation, la création de routes de tourisme, la revision du classement des routes et chemins.

Le Comité s'est occupé de la réfection des chaussées endommagées ou pas entretenues du fait de la guerre et a préparé un premier projet comportant la fourniture et la mise en œuvre de plus de 6 000 000 m³ de pierres cassées pour les chaussées empierrées et la réfection de 2 800 000 m² de pavage. La dépense, à la charge du Trésor, évaluée à 275 000 000 fr serait à effectuer en deux années.

b) Navigation intérieure. — *Travaux d'amélioration des voies navigables*. — Le Comité s'est occupé des questions suivantes : augmentation du mouillage, accroissement des dimensions des cuvettes, des écluses des ponts ; perfectionnement des barrages et réservoirs, organisation des services de traction, accroissement des moyens d'alimentation, établissement de ports et de raccordements avec les voies ferrées, outillage de chargement et de déchargement dans les ports ; constitution d'un outillage perfectionné pour les travaux d'entretien et de réparations en vue notamment de supprimer ou de diminuer les chômages, etc.

Canaux du Nord, du Nord-Est et voies navigables du Nord et du Nord-Est. — Ce Comité s'est particulièrement attaché à l'étude du canal du Nord qui était en construction lors de la déclaration de guerre, il avait été prévu pour des bateaux du type péniche ; il a été partiellement détruit au cours des hostilités. Le Comité a estimé que, dans sa reconstruction, il conviendrait de l'équiper pour des bateaux de 600 t et a étudié l'élargissement de la cuvette et la reconstruction d'écluses d'un type nouveau. Le même Comité aura prochainement à délibérer sur le prolongement du canal des Ardennes jusqu'au canal de la Marne au Rhin.

Aménagement de la Seine entre Montereau et la mer. — Ce Comité a étudié un avant projet, comportant l'approfondissement de la Seine à 4,50 m entre Bougival et Rouen, il a formulé à ce sujet un avis où il indique les travaux qu'il est possible d'engager immédiatement en réservant l'avenir.

Loire, de Nantes à Briare. — Ce Comité, de formation très récente, s'occupe actuellement de rechercher les moyens les plus aptes à rendre la Loire navigable ; il pourra émettre son avis dans un très bref délai.

D'autres Comités sont chargés des études suivantes : canal de la Garonne à la Loire ; canal du Berry, canal de Moulins à Sancoins ; canal de la Loire au Rhône ; voies navigables du Sud-Ouest (canal latéral à la Garonne, canal du Midi, Garonne, Dordogne, etc.).

Aménagement du Rhône au point de vue de la navigation, des forces motrices et de l'agriculture. — Ce Comité s'est occupé activement de l'utilisation des forces hydrauliques du Rhône dans la partie supérieure de son cours, et des relations à établir avec la Suisse par la voie du Rhône.

Il a étudié également la création d'un port à Lyon et l'aménagement hydro-électrique du Rhône en aval de Lyon, la question des irrigations dans la vallée du Rhône et un vaste projet comportant l'aménagement intégral de ce fleuve.

En ce qui concerne l'utilisation des forces motrices du Haut-Rhône, le Comité est en train de faire exécuter des sondages pour savoir où seraient établis les grands barrages projetés (Génissiat ou Malpertuis et Bellegarde).

Canal du Rhône au Rhin. — Le retour de l'Alsace à la France rend urgente l'amélioration de ce canal ; le Comité étudie un projet de réfection lui permettant de livrer passage aux grands bateaux du Rhin et du Rhône.

c) Forces hydrauliques. — Ce Comité a la mission, particulièrement importante pour l'avenir économique du pays, d'étudier les opérations à entreprendre en vue de l'aménagement de l'énergie hydraulique sur toute l'étendue du territoire. Dans ce but, il procède à l'inventaire des principales chutes disponibles, recherche les moyens de les mettre en valeur et d'en réaliser l'emploi au mieux des intérêts industriels ou agricoles.

Pour faciliter ses travaux, le Comité s'est subdivisé en quatre Sous-Comités auxquels ont été respectivement attribuées comme champ d'action les quatre grandes régions pourvues de forces hydrauliques :

Alpes, Pyrénées, Centre et Est.

d) Distributions d'énergie électrique. — Ce Comité, dont le rôle consiste à étudier les mesures propres à favoriser l'utilisation de l'énergie électrique, a entrepris une enquête auprès des principales sociétés distributrices d'électricité pour connaître leurs desiderata, afin de s'en servir de base pour l'adoption de nouvelles dispositions destinées à améliorer, s'il y a lieu, la législation actuelle et à favoriser le développement des distributions.

Le Comité s'occupe également de dresser une carte générale des distributions existantes, notamment des lignes de transmission à haute tension. A l'aide de cette carte, on pourra constater les lacunes existantes et aviser aux moyens à employer pour les remplir. Le travail que le Comité se propose d'établir comprendra :

1° Un tracé des nouvelles lignes à construire ; 2° leur situation ; 3° leur classement par ordre d'urgence.

Digitized by Google

e) Ports maritimes. — *Etablissements maritimes du Havre, de Rouen et de la Seine maritime.* — Ce Comité a reconnu la nécessité d'établir une nouvelle voie ferrée entre Rouen et le Havre, en vue de desservir les établissements maritimes de la basse Seine et les ports de Rouen et du Havre.

D'autre part, il a étudié l'installation d'un ferry boat pour la traversée de la Seine aux abords de Quillebœuf, afin de permettre les relations du port du Havre avec les régions du Sud-Ouest. Cette solution n'est envisagée qu'à titre provisoire, la traversée définitive se fera en souterrain sous le lit de la Seine. Les chemins de fer de l'Etat avaient envisagé la traversée en amont de l'estuaire de la Seine, le Comité a proposé et mis à l'étude un projet consistant à réaliser ce souterrain sous l'estuaire même, entre le Havre et Honfleur.

Le Comité s'est occupé également des mesures à prendre pour améliorer les ports de Rouen et du Havre.

Port de Caen. — Ce Comité a arrêté un programme général comportant le développement des quais, de l'outillage et des voies ferrées du port proprement dit, l'approfondissement du canal qui constitue son débouché à la mer et l'amélioration de ses accès intérieur et extérieur à Ouistreham dont l'écluse et les jetées seront reconstruites.

Création de ports de pêche. — Ce Comité a envisagé la création de quatre grands ports de pêche, en vue de faire des produits de la pêche maritime un élément important de l'alimentation nationale. Ces ports sont : Boulogne, sur la Manche ; Lorient et la Rochelle, sur l'Atlantique ; Cette, sur la Méditerrannée. Le Comité s'occupera également du transport du poisson par voies ferrées.

Etablissements maritimes de Saint-Nazaire, de Nantes et de la Basse-Loire. — Ce Comité étudie les améliorations à apporter à ces deux ports et à la Basse-Loire, il estime qu'en réalisant un programme rationnel, on pourrait leur permettre de faire face à un trafic annuel pouvant atteindre 12 millions de tonnes.

D'autres Comités se sont occupés activement des améliorations à apporter au port de la Rochelle-Pallice, aux établissements maritimes de Bordeaux et de la Gironde, au port de Cette, au port de Marseille. L'aménagement de Port-de-Bouc, de l'étang de Caronte et de l'étang de Berre, ainsi que le canal d'accès à cet étang ont fait l'objet de nombreuses études.

Enfin, un Comité a été chargé d'étudier l'établissement et l'amélioration des ports à grand tirant d'eau, pouvant recevoir à toute heure les plus grands bateaux actuels et ceux de dimensions plus grandes qui pourront être construits dans des temps plus ou moins lointains.

f) Chemins de fer. — Différents comités se sont occupés de questions importantes intéressant les chemins de fer telles que : l'amélioration des relations par voie ferrée entre la Suisse et les ports de l'Océan ; le tunnel sous la Manche ; étude des questions de matériel intéressant l'amélioration de l'exploitation : freinage, outillage, ateliers, wagons métalliques, wagons frigorifiques, etc. Un Comité spécial s'occupe des questions de matériel fixe et matériel roulant des réseaux d'intérêt local.

Electrification des réseaux d'intérêt général. — Dès sa première réunion, le Comité a adopté un programme de travaux et nommé deux Sous-Commissions, l'une, dite administrative et l'autre, dite technique.

La Sous-Commission administrative a provoqué et examiné les propositions d'électrification des trois réseaux : Midi, P.-O. et P.-L.-M. ; ces propositions s'étendent au total sur 8 200 km de lignes et comportent un programme de travaux (usines hydro-électriques, installations fixes de transformation et d'alimentation, matériel tracteur) évalué à 2 400 millions.

La Sous-Commission technique est en train de rédiger un rapport très documenté exposant l'expérience actuellement acquise, en France et à l'étranger, dans l'électrification des grandes lignes. Ce rapport servira de base à une discussion qui, après toutes vérifications exécutées par les missions jugées utiles par le Comité, pourra conduire à la détermination du meilleur mode de traction électrique pour nos réseaux d'intérêt général.

Questions diverses intéressant les chemins de fer. — Des Comités ont étudié également le classement dans le réseau d'intérêt général de certaines lignes d'intérêt local et les travaux résultant de ce classement. La création de nouvelles lignes d'intérêt général est également en cours d'étude.

g) Section des études générales. — La section des études générales a entrepris la préparation de mémoires sur les questions suivantes : utilisation par la France du port d'Anvers ; transit international ; régime de tarification et d'exploitation des voies de transport ; taxes perçues dans les ports ; droits de quai ; surtaxe d'entrepôt ; relations des transports par eau et par chemins de fer ; tarifs mixtes.

Telles sont analysées rapidement, les principales questions étudiées par le Conseil supérieur des Travaux publics.

Les programmes établis sont magnifiques, ils sont même trop beaux, malgré toute la bonne volonté du ministère des Travaux publics, seront-ils exécutés un jour ? La politique n'entravera-t-elle pas la réalisation de ces programmes qui donnerait à la France un développement considérable ? Espérons que l'avenir nous prouvera le contraire, c'est ce que nous souhaitons pour le plus grand bien de la nation.

H. C.

Assemblées générales

Est-Lumière.

Assemblée générale extraordinaire du 26 mars 1919.

Les actionnaires ont été convoqués pour être tenus au courant de l'état dans lequel ont été retrouvées les installations des Ardennes.

Dès la conclusion de l'armistice, les administrateurs, partis sur place, ont pu constater que la Société, plus heureuse que beaucoup d'autres, n'avaient pas ses installations anéanties et qu'elle pourrait reprendre assez rapidement une exploitation partielle.

L'usine de Mohon est à peu près intacte. Les groupes turbo-alternateurs un de 4 000 kw, un de 2 000 kw et deux de 1 000 kw sont restés, mais l'ennemi a rendu inutilisables

Digitized by Google

les turbines, ayant fait disparaître les coussinets des paliers de butée et les dispositifs de réglage de vitesse.

Les dix générateurs de l'ancienne chaufferie sont restés sur place, dans la nouvelle chaufferie en cours d'installation, le montage des générateurs a été terminé par l'ennemi qui a substitué aux grilles mécaniques prévues, des foyers à main d'une construction allemande, en outre il avait commencé le montage de deux nouveaux générateurs Babcock.

Des modifications assez importantes semblent avoir été réalisées dans le réseau de distribution, la plupart des postes de transformation ont été retrouvés. Un examen complet n'a pu être fait à cause des difficultés de transport.

Il résulte que l'entreprise pourra être assez rapidement remise en service partiel.

Malheureusement, pendant toute la période d'occupation, tout le matériel a fonctionné en surcharge, sans entretien, et se trouve en état d'usure anormale. Dans l'ancienne chaufferie, il a pu être à peine reconstitué en état de marche, quatre chaudières sur dix.

Toutes les mesures nécessaires ont été prises pour fournir l'énergie électrique, tout au moins pour l'éclairage, aux agglomérations les plus importantes du département desservies par la Société.

Au 31 décembre 1918, à l'aide d'une installation provisoire établie à Mézières, l'éclairage de Mézières et de Charleville a été assuré. Une autre effectuée à Sedan a permis d'éclairer la ville dans le courant de janvier dernier.

Pour la remise en état des installations, les commandes nécessaires ont été passées aux divers constructeurs, immédiatement après avoir constaté les dommages. Grâce à tous les efforts combinés, un groupe de 1 000 kw de la Centrale de Mohon a été remis en service depuis le 7 mars dernier.

Les travaux de réfection et remise en état des lignes de transport et des réseaux sont également commencés.

La Société n'est pas encore en mesure de présenter de documents comptables autres que ceux qui ont été soumis à l'Assemblée du 30 octobre 1915, dans laquelle a été donnée la situation provisoire au 30 juin 1914; le paiement des coupons-obligations avait été suspendu.

A la déclaration de guerre, tout le personnel dirigeant ayant été mobilisé, l'exploitation de l'entreprise a été en totalité effectuée par l'ennemi depuis fin août 1914 jusqu'au 11 novembre 1918, il en a assumé toutes les dépenses et encaissé toutes les recettes. Les documents à ce sujet sont recherchés et réunis.

La Société compte sur la réparation des pertes qu'elle a subies.

Les résolution suivantes ont été adoptées.

Première résolution. — L'Assemblée générale des actionnaires de l'Est-Electrique réunis à Paris, après avoir entendu le rapport du Conseil d'Administration sur la situation de la Société, approuve les propositions du Conseil d'Administration tendant à clore l'exercice 1914, le 2 août 1914, et de fusionner toute la période suivante en un seul exercice commençant le 2 août 1914 et clôturé le 31 décembre 1918. Il sera rendu compte ultérieurement de ces deux exercices.

Deuxième résolution. — L'Assemblée décide de modifier suit comme l'article 14 des statuts :

ART. 14. — Sans changement, à l'exception du quatrième paragraphe qui sera libellé comme suit :

« A l'expiration de ses fonctions, le premier Conseil sera renouvelé en entier, et ensuite, la renouvellement se fera annuellement de façon que le renouvellement intégral ait lieu en six ans ».

Troisième résolution. — L'Assemblée générale réélit administrateurs :

MM. P. Helle, J. Bergeret de Frouville, C. Mazeran, B. Durand, A. Gay, E. Tissot et E. Renauld. Elle décide que leurs pouvoirs expireront aux Assemblées générales ordinaires qui auront à examiner les comptes des exercices suivants, et ce, conformément au tableau ci-après :

MM. P. Hellé et J. Bergeret de Frouville, exercice 1920;
MM. C. Mazeran et B. Durand, exercice 1921;
MM. A. Gay et E. Tissot, exercice 1922;
M. F. Renauld, exercice 1923.

Société générale pour favoriser le développement du commerce et de l'industrie en France.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 27 MARS 1919.

Dans son rapport aux actionnaires de la Société Générale dont l'assemblée a eu lieu le 27 mars 1919, le Conseil, après quelques considérations sur la situation actuelle, énumère les affaires d'intérêt général et régional auxquelles la Société a prêté son concours et indique que l'établissement a contribué pour 2 milliards 1/2 au succès du 4e emprunt national.

En raison des événements qui ont marqué les premiers mois de l'année, le Conseil, d'accord avec le gouvernement, fit transporter dans une ville du centre de la France les titres et objets précieux de la clientèle que l'établissement, malgré les difficultés de personnel et de transport, ne cessa pas un seul jour de recevoir en dépôt.

Le rapport signale le rétablissement des cordiales et étroites relations, interrompues par la guerre, avec la Société générale alsacienne de banque, fondée en 1880, sous les auspices de la Société Générale et qui, par son réseau complet d'agences et son excellent crédit occupe une des premières places dans les provinces retrouvées. Des rapports ont été également repris avec la filiale de Belgique, la Société Française de banque et de dépôts qui, vraisemblablement, ne tardera pas à retrouver son ancienne prospérité. Quant à la filiale suisse, la Société suisse de banque et de dépôts, sa situation est satisfaisante en tous points. A Barcelone, un immeuble a été acquis en vue d'y installer une succursale et de concert avec la Banque de Salonique et des personnalités importantes de Lyon et de Marseille, la Société Générale a constitué la Banque française de Syrie.

Le Conseil rend ensuite un dernier hommage aux 1 550 morts et disparus appartenant au personnel de la Société Générale et mentionne les 57 « Légion d'honneur », les 151 « Médaille militaire » et les 1 643 « croix de guerre » glorieusement gagnées, qui attestent les exploits accomplis par les agents mobilisés de la Société.

Enfin, le Conseil salue la mémoire de trois de ses membres décédés pendant l'exercice, MM de Matharel, Dujardin-Beaumetz, de Fredaigue et exprime ses profonds regrets de la retraite de son vice-président, M. Dejardin-Verkinder, imposée par son grand âge et son état de santé.

Sur le produit net de l'exercice qui s'est élevé à 15 741 058 fr, le Conseil propose de servir aux actionnaires un dividende de 6 pour 100, à raison de 15 fr par titre, sous déduction des impôts. Un acompte de 6,25 fr ayant été mis en paiement le 2 janvier 1919, il sera distribué à partir du 1er juillet 1919 8,75 fr par action, sous déduction des impôts, soit net 8 fr.

L'assemblée a fait un excellent accueil aux déclarations du Conseil et a voté à l'unamité toutes les résolutions présentées.

Digitized by Google

SECTION DE LÉGISLATION

Notes sur l'application pratique de la loi du 15 juin 1906 et des règlements annexes (*suite*) (1)

L'article 22 du cahier des charges-type peut conduire à une mauvaise interprétation des mots « à son profit », qui figurent dans la dernière phrase. L'auteur montre qu'il est logique d'admettre qu'ils s'adressent au pouvoir concédant; il indique aussi dans quel sens on doit comprendre le rachat d'une concession et quelles sont les indemnités légitimement exigibles par le concessionnaire. Suivent quelques renseignements techniques sur les supports communs à plusieurs lignes électriques, sur les supports en ciment armé, sur les distributions pour tous usages autres que l'éclairage, etc. L'article se termine par l'énoncé des clauses que ne peut insérer dans un contrat une Société coopérative de distribution, sous peine de nullité.

Dans le présent article, l'auteur donne quelques renseignements sur l'interprétation et l'application de certains articles du cahier des charges-type de concession, notamment des articles 22 et 23.

Comme questions techniques, il importe de signaler l'intérêt qu'il y a, au point de vue de la commodité et même de la sécurité de l'exploitation, à éviter l'emploi de supports communs à plusieurs entreprises, surtout quand, sur les mêmes supports, coexistent des lignes à haute et basse tension.

Certaines compagnies de transport par voie ferrée ont été et sont autorisées à employer leurs excédents d'énergie électrique à la distribution publique. Quel doit être le régime des lignes de transport ? Sont-elles soumises aux frais de contrôle ? Une note examine ces questions.

Le paiement des redevances pour occupation du domaine public s'est très souvent posé pour les canalisations établies par permission de voirie, avec autorisation antérieure au 15 juin 1906. Dans les autorisations, les dates de révision des redevances tantôt sont spécifiées, tantôt ne le sont pas. Une note indique les conditions dans lesquelles, suivant les cas, doivent se faire cette révision et ce paiement.

La question de concurrence se pose de temps en temps ; elle a été déjà examinée dans les notes antérieures. Aujourd'hui l'auteur examine le cas d'une demande de distribution de force motrice électrique par permission de voirie en concurrence avec une concession communale de distribution d'énergie électrique pour tous usages.

Les sociétés coopératives sont en faveur actuellement et elles paraissent appelées à rendre de réels services. Il peut en être ainsi, en particulier, pour les emplois agricoles de courant électrique. A cet égard, l'auteur conseille à ces sociétés de ne pas limiter la distribution à leurs seuls adhérents, mais de demander une concession de distribution publique d'énergie électrique qui offre plus d'avantages pour l'exploitant qu'une distribution limitée par permission de voirie.

(1) Voir les numéros de la *R. G. E.*, des 21 septembre, p. 435 ; 16 novembre, p. 375 ; 30 novembre, p. 853 ; 28 décembre 1918, t. IV, p. 1027 ; 11 janvier, p. 79 et 8 février 1919, t. V, p. 237.

Concession. — CAHIER DES CHARGES. — INTERPRÉTATION. — ARTICLE 22.

La question s'est posée de savoir si les mots : « à son profit » qui figurent dans la dernière phrase de l'article 22 des cahiers des charges de concessions doivent s'appliquer au pouvoir concédant ou au concessionnaire.

Ces mots s'appliquent au pouvoir concédant. En effet, les prescriptions de l'article 22 ont pour but d'éviter que le consommateur ne risque, en fin de concession, de subir une interruption dans la fourniture du courant et d'armer à cet effet le pouvoir concédant. C'est ainsi qu'en particulier a été prévu le cas où, le concessionnaire ne possédant pas en propre les sous-stations et postes de transformateurs et ne produisant pas le courant dans des usines faisant partie de la concession, le pouvoir concédant, avant de traiter avec un autre entrepreneur, aurait à desservir directement les abonnés par des sous-stations et des postes de transformateurs nouveaux. C'est pour cette éventualité que le pouvoir concédant percevra légitimement « à son profit » le prix de l'énergie dont il assurera la distribution.

D'ailleurs l'examen attentif de la construction de la phrase, au point de vue grammatical, ne laisse aucun doute sur cette interprétation.

Il convient de rapprocher la rédaction de l'article 22 avec celle de l'article 5 (deuxième alinéa) qui indique la même préoccupation d'éviter que le consommateur ne risque, en fin de concession, de subir une interruption dans la fourniture du courant. Cette rédaction est la suivante :

« Le réseau sera alimenté au moyen d'un ou plusieurs postes centraux, situés sur le territoire de la commune, qui feront partie intégrante de la concession. »

Avec cette disposition, avant la fin de la concession,

Digitized by Google

une autre usine génératrice, de nouvelles lignes de transport peuvent être établies, indépendamment des installations existantes et, dans les six derniers mois de la concession, le pouvoir concédant peut faire faire dans les postes centraux les connexions nécessaires avec les nouvelles installations de façon à assurer progressivement le service, sans interruption, à la cessation du service du concessionnaire existant.

Concession. — CAHIER DES CHARGES. — ARTICLES 22 ET 23. — EXPIRATION ET RACHAT DE LA CONCESSION. — INDEMNITÉS.

Le second alinéa de l'article 22 du cahier des charges type en date du 17 mai 1908 prévoit la faculté pour la Commune, en fin de concession, de prendre possession de tous les immeubles et ouvrages de la distribution et de ses dépendances, moyennant certaines conditions. En particulier, il est prévu une indemnité égale aux dépenses dûment justifiées, supportées par le concessionnaire pour l'établissement des ouvrages subsistant en fin de concession et régulièrement exécutés pendant les N dernières années de la concession, sauf déduction pour chaque ouvrage de $1/N$ de sa valeur pour chaque année écoulée depuis son achèvement.

La valeur de N dans les expressions ci-dessus, N et $1/N$, doit être la même, étant entendu que la valeur de N ne peut être supérieure à 15 années, quand la concession comporte un privilège d'éclairage.

La même interprétation doit être appliquée aux conditions du rachat de la concession (article 23) ; mais la valeur de N peut ne pas être nécessairement la même aux articles 22 et 23.

Concession. — CAHIER DES CHARGES. — ARTICLE 23. — INTERPRÉTATION.

L'article 23 des cahiers des charges-types pour les concessions de distribution d'énergie électrique, concessions communales (17 mai 1908) et concessions d'État (20 août et 30 novembre 1909) dans son huitième alinéa, prévoit que, si le rachat de la concession a lieu avant l'expiration des vingt premières années, le concessionnaire pourra demander que l'indemnité, au lieu d'être calculée comme il est dit dans les alinéas du même article qui précèdent, soit égale aux dépenses réelles de premier établissement, y compris les frais de constitution de la société qui, suivant les usages ordinaires, ne doivent pas dépasser 10 pour 100 des frais de premier établissement.

Dans certains cas, des entreprises ont compris par erreur dans ce maximum les frais de premier établissement.

Cette erreur doit être rectifiée, si elle a été commise suivant une procédure régulière, car elle peut avoir comme conséquence d'empêcher l'autorité concédante de pouvoir procéder au rachat.

Concession. — CAHIER DES CHARGES. — ARTICLE 21. — DURÉE DE LA CONCESSION.

Ne constitue pas une dérogation au cahier des charges type la rédaction suivante de l'article 21 :

« La présente concession expirera le ..... »

Il doit d'ailleurs être entendu qu'en conformité à la note inscrite au cahier des charges-type, la durée de la concession ne peut être supérieure à quarante ans.

Questions techniques. — SUPPORTS COMMUNS A PLUSIEURS LIGNES ÉLECTRIQUES.

Bien que l'Administration ait dû prévoir, dans l'article 40 du décret du 3 avril 1908, l'établissement sur les mêmes supports de conducteurs de première et de deuxième catégorie, il n'est pas douteux qu'il peut y avoir dans de telles installations une source de dangers graves que le service du contrôle et les industriels doivent chercher à éviter par tous les moyens possibles.

La meilleure mesure à prendre consiste à éviter ce genre d'installations par une modification du tracé des lignes électriques. Si cette mesure radicale est impossible et si les circonstances obligent à admettre la coexistence sur les mêmes supports des deux sortes de canalisation, il y a lieu de placer les lignes de première catégorie au-dessous de celles de la deuxième catégorie. Dans le cas exceptionnel où cette précaution n'est pas réalisable, il y a lieu d'établir les lignes de première catégorie avec le même coefficient de sécurité que les lignes de seconde catégorie, placées au-dessous d'elles.

Dans le cas où l'application de ces prescriptions paraît insuffisante pour assurer la sécurité, le ministre doit être saisi des cas particuliers avec rapport, dessins, croquis, calculs et toutes pièces nécessaires pour l'étude de la question. L'industrie électrique doit tenir compte qu'en l'état actuel il n'existe pas de dispositif susceptible de s'opposer, d'une façon absolue, en cas d'accident, à l'introduction du courant de seconde catégorie dans le réseau à basse tension. Aussi, c'est par la résistance mécanique des ouvrages et la bonne exécution des installations qu'il faut rechercher les moyens propres à garantir la sécurité

Questions techniques. — SUPPORTS EN CIMENT ARMÉ POUR CANALISATION.

Les calculs de résistance des supports en ciment armé, employés dans la construction des lignes électriques, doivent satisfaire à la fois aux instructions ministérielles du 20 octobre 1906 sur l'emploi du ciment armé dans les ouvrages des travaux publics et aux prescriptions de l'arrêté technique, édicté en vertu de la loi du 15 juin 1906.

Questions techniques. — DISTRIBUTION POUR TOUS USAGES AUTRES QUE L'ÉCLAIRAGE. — VARIATION ADMISSIBLE DE LA TENSION.

Dans le cahier des charges type, une note indique à

Digitized by Google

l'article 9 que la tolérance habituellement admise pour l'éclairage ne dépasse pas 5 pour 100 en plus ou moins. Dans une distribution pour tous usages autres que l'éclairage, cette tolérance peut sans inconvénient être portée à 10 pour 100.

Questions techniques. — VOIES PRIVÉES. ÉTABLISSEMENT DE CANALISATIONS ÉLECTRIQUES.

Doivent être considérés comme terrains particuliers, et non comme voies publiques, des chemins et avenues, provenant du lotissement d'une propriété privée, appartenant à un particulier qui les a construits à ses frais, que la commune n'a pas acceptés et dans l'entretien desquels la commune n'intervient en aucune façon.

Contrôle. — DISTRIBUTION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE PAR UN CONCESSIONNAIRE DE CHEMIN DE FER ÉLECTRIQUE. — CANALISATIONS SOUMISES AUX FRAIS DE CONTROLE.

Quand le cahier des charges autorise le concessionnaire d'un chemin de fer électrique à employer ses excédents d'énergie dans la distribution de cette énergie pour l'éclairage seul ou pour tous usages, tous les ouvrages ou canalisations, exécutés en vue de cette vente, ne peuvent être installés que par concession ou par permission de voirie dans les conditions prévues par la loi du 15 juin 1906 et les règlements, décrets, arrêtés et circulaires, rendus pour son exécution.

Il convient, par application du principe ci-dessus, de signaler en particulier les deux points ci-après :

Les projets d'exécution des lignes de transport de force doivent être soumis à l'ingénieur en chef du Contrôle des distributions d'énergie électrique, au moins en ce qui concerne les traversées de voies publiques, et faire l'objet de son approbation, sauf référence au ministre des Travaux publics, en cas de difficultés.

Les lignes de transport de force et les artères d'alimentation, comprises dans la concession du chemin de fer, n'ont pas à être soumises aux frais de contrôle, prévus par les décrets des 17 octobre 1907 et 6 septembre 1912 ; mais toutes les canalisations intérieures ou extérieures au chemin de fer qui seraient parcourues par du courant destiné à la vente au public, doivent acquitter ces taxes, notamment en vue de réaliser, le cas échéant, l'équivalence des conditions entre concurrents qui est exigée par l'article 8 de la loi du 15 juin 1906.

Permission de voirie. — PERMISSIONS ANTÉRIEURES A LA LOI DU 15 JUIN 1906. — REDEVANCES POUR OCCUPATION DU DOMAINE PUBLIC.

Aux termes de l'article 6 du décret du 17 octobre 1907, les redevances pour l'occupation du domaine public, par les ouvrages de distribution d'énergie électrique, prévues par ledit décret, sont applicables aux distributions, établies en vertu de permissions de voirie, antérieures à la loi du 15 juin 1906, dès l'époque où les conditions fiscales de ces permissions sont susceptibles d'être revisées.

Si aucune date n'a été fixée pour la revision des redevances dans l'acte d'autorisation, les redevances, prévues par le décret du 17 octobre 1907, sont exigibles, ainsi qu'il est explicitement stipulé dans la circulaire ministérielle du 15 mars 1909, en ce qui concerne la grande voirie nationale, à l'expiration du délai de cinq ans qui résulte de l'application de l'article 4 de l'arrêté ministériel du 3 août 1878.

Ces dispositions s'appliquent en particulier aux canalisations établies en vertu de permissions de voirie, accordées à une commune avant 1906, soit directement à son profit, soit pour une rétrocession à un concessionnaire.

L'ingénieur en chef du contrôle des distributions d'énergie électrique doit adresser au Service des Domaines le relevé des occupations du domaine public national par les installations de la distribution, en conformité des prescriptions de l'article 5 du décret du 17 octobre 1907, modifié le 7 septembre 1912, et il appartient à ce service d'en poursuivre le recouvrement.

Divers. — CONCURRENCE.

Il y a lieu, en principe et d'une manière générale, d'éviter que des distributions, établies par simple permission de voirie, puissent faire échec à l'établissement de distributions organisées d'après des contrats précis de concession qui assurent le fonctionnement des entreprises dans les conditions les plus favorables à la fois aux intérêts généraux et aux intérêts particuliers.

Aussi, quand dans une commune où il existe une distribution d'énergie électrique concédée pour tous usages, une demande de distribution de force motrice par permission de voirie est présentée par un concurrent, il n'y a pas lieu, en général, d'y donner suite, étant entendu que le concurrent peut solliciter l'obtention d'une concession, limitée à la distribution de la force motrice, si la concession existante comporte un privilège pour l'éclairage. Si une telle demande de concurrence se présente, il appartient aux pouvoirs publics de l'examiner au point de vue de l'intérêt général. Si dans les centres importants la concurrence peut être utile, dans les faibles agglomérations il peut y avoir des inconvénients à autoriser une concession concurrente aussi longtemps que la concession existante suffit à tous les besoins, ne donne lieu à aucune réclamation et ne réalise pas des bénéfices exagérés.

Divers. — SOCIÉTÉ COOPÉRATIVE DE DISTRIBUTION

Un traité passé entre une commune et une société coopérative de distribution de l'électricité viole la loi du 15 juin 1906 :

1° Quand il comporte l'engagement de la commune de n'accorder aucune autorisation à des entreprises concurrentes (art. 8, § 1) ;

Digitized by Google

2° Quand il donne à la société coopérative le privilège d'utilisation des voies publiques pour des usages autres que l'éclairage (art. 8, § 2);

3° Quand il ne fixe pas de tarif maximum (art. 3);

4° Quand il n'a pas été soumis à l'enquête et qu'il n'est pas conforme au cahier des charges-type (art. 6).

Il est de ce fait frappé de nullité et ne saurait, par suite, être approuvé.

D'autre part, l'exploitation d'une coopérative qui ne produit et ne distribue l'énergie électrique qu'en faveur de ses seuls clients actionnaires, n'a lieu qu'au profit de ses seuls adhérents; dans ces conditions, il est impossible de reconnaître à cette entreprise le caractère de distribution *publique* d'énergie électrique, requis par l'article 6 de loi 1906, pour que cette distribution fasse l'objet d'une concession.

Le seul régime sous lequel une telle société peut être placée pour distribuer du courant à ses seuls adhérents est dès lors le régime de la permission de voirie, mais rien n'empêchera qu'elle n'obtienne dans la forme régulière une concession le jour où elle voudra étendre la fourniture à tout consommateur.

A. MONMERQUÉ,
Inspecteur général des Ponts et Chaussées

Législation, jurisprudence, réglementation

Jurisprudence

TRIBUNAL DE PONTOISE, 12 DÉCEMBRE 1917. — SOCIÉTÉ D'ECLAIRAGE, CHAUFFAGE, FORCE MOTRICE CONTRE HAAS.

La police intervenue entre le concessionnaire et l'abonné est l'accessoire du cahier des charges auquel elle est liée, si bien que l'abonné doit supporter la surélévation des tarifs régulièrement consentie par la commune dans un avenant motivé par la hausse, anormale et impossible à prévoir au moment du contrat, du combustible nécessaire à la fabrication du gaz.

Attendu que la Société d'Eclairage, Chauffage, Force motrice, demande au tribunal de décider à l'encontre de Haas « qu'il appartenait à la commune de Soisy-sous-Montmorency, soit par voie de modification, soit par voie d'interprétation du traité de concession, de relever le prix du gaz vendu aux particuliers de 0,16 fr à 0,20 fr le mètre cube; que cette décision s'impose aux consommateurs depuis le 1er novembre 1915 ».

Que Haas était sans droit de continuer après cette date à consommer le gaz à un autre prix que celui de 0,20 fixé par l'avenant, qu'il ne pouvait, après le 1er novembre 1915, qu'accepter le prix de 0,20 fr ou cesser son abonnement;

Qu'en conséquence la société demanderesse conclut à la condamnation de Haas en paiement de la somme de 503,15 fr pour la consommation du gaz depuis décembre 1915 jusqu'à novembre 1917 sur la base de 0,20 fr le mètre cube;

Attendu que les rapports existant entre les parties sont régis par une police d'abonnement souscrite le 30 mai 1903, laquelle sera enregistrée en même temps que le présent jugement et dont les deux premiers articles sont ainsi conçus :

ARTICLE PREMIER. — La société est tenue de fournir le gaz pour l'éclairage, le chauffage et la force motrice dans les conditions de son cahier des charges et notamment de l'article 12 à tout consommateur qui, se trouvant sur le parcours des canalisations, se conforme aux prescriptions de la présente police.

ART. 2. — Le prix du mètre cube de gaz vendu aux particuliers et livré au compteur pour l'éclairage, le chauffage ou la force motrice est fixé à 0,16 fr.

Que l'abonnement de Haas n'ayant pas été formellement limité à une durée de trois mois, s'est, conformément à l'article 3 de la police, continué après cette période sans durée déterminée; qu'il est encore en cours, Haas n'ayant pas manifesté par un préavis de quinze jours son intention de faire cesser son abonnement.

Attendu que la société devant fournir le gaz dans les conditions de son cahier des charges, la police dont se prévaut le défendeur, comme étant, selon lui, la seule loi des parties, ne doit pas être séparée du traité de concession intervenu entre la commune et la société gazière; qu'elle en est le complément et l'accessoire que par conséquent et de même que les clauses de ce traité se sont, depuis l'origine de la concession, imposées tant à la société qu'à l'abonné lui-même par suite de l'adhésion de ce dernier à l'article premier de la police, de même toute modification régulièrement apportée au tarif primitif aura pour l'abonné un caractère obligatoire et deviendra la nouvelle loi des parties;

Attendu qu'à raison de la hausse croissante du prix de revient du charbon inconstamment qui, avant la guerre, n'avait pu être prévue, ni par la société concessionnaire, ni par la commune de Soisy-sous-Montmorency, il est intervenu entre elles le 15 octobre 1915 un avenant au traité originaire; qu'aux termes de cet avenant, approuvé par M. le Préfet de Seine-et-Oise le 3 décembre 1915, le prix du gaz a été élevé temporairement à partir du 1er novembre 1915 et jusqu'à la signature de la paix à 0,20 fr le mètre cube; que cette majoration temporaire a été portée à la connaissance des consommateurs par une large publicité sans que Haas ait cru devoir dénoncer son contrat d'abonnement;

Que dans ces circonstances le défendeur, qui a accepté de conditionner son abonnement aux clauses du cahier des charges est tenu, du moins à partir du 3 décembre 1915, date de l'approbation préfectorale, de payer le mètre cube de gaz à raison de 0,20 fr et, ce, s'il reste abonné, jusqu'à la signature de la paix;

Qu'il convient toutefois de déduire au compte général présenté par la compagnie d'éclairage la somme de 0,35 fr l'ancienne tarification étant applicable à la consommation de Haas pendant les trois premiers jours de décembre 1915, à raison de 3 m³ par jour;

Par ces motifs.

Dit que la commune de Soisy-sous-Montmorency était fondée à relever le prix du gaz vendu aux particuliers de 0,16 à 0,20 le mètre cube et qu'à compter du 3 décembre 1915, Haas devait subir ce nouveau prix ou cesser son abonnement;

Condamne en conséquence le défendeur à payer à la S. E. C. F. M. la somme de 502,80 fr pour la consommation du gaz de décembre 1915 à novembre 1917, ensemble les intérêts de droit;

Condamne Haas aux dépens qui comprendront les droits ou amendes perçus à l'occasion de l'enregistrement de la police sus énoncée.

Le texte du jugement se trouve dans la « Revue des Concessions départementales et communales », janvier-juin 1918, p. 84.

PAUL BOUCAULT.
Avocat à la Cour de Lyon.

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF : Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 16. — 19 AVRIL 1919.

Chronique. — Nécrologie : Xavier-Georges-Frédéric Devaux-Charbonnel, par le colonel J.-B. POMEY. — Bibliographies : Cours de comptes courants à intérêts, par Paul-Louis MARTINEAU ; Formulaire de l'Electricien et du Mécanicien, par E. HOSPITALIER et G. ROUX ; Der neue Nivellement-Horizont der Schweitz (R. P. N. = 373,6, par H. ZOLLY ; Les tours, par O. PERRIGO ; Le Fraisage, par Maurice VARINOIS ; Calcul des ressorts, par E. DESGARDES ; La vérification des pièces interchangeables, par Paul NÉGRIER. — La conférence interalliée des associations de Chimie, p. 577-580.

Section scientifique et technique. — Applications du calcul symbolique à l'intégration des équations différentielles linéaires simultanées et à la résolution de certains problèmes de mécanique, par H. VOOT, p. 579. — Revues, analyses et informations : Le rayonnement lumineux du corps noir et l'équivalent mécanique de la lumière, p. 589 ; Sur la production d'un courant continu par application d'une force électromotrice alternative à un voltamètre à électrodes de platine, p. 593 ; Théorie de la structure atomique basée sur des considérations physico-chimiques, p. 594.

Section industrielle. — La commutation automatique dans la téléphonie à longue distance, par C. JANCULESCO, p. 599. — A travers les stations électriques dévastées. Les Aciéries de Longwy (Mont-Saint-Martin), par Auguste PAWLOWSKI, p. 602. — Le chemin de fer électrique à écartement de 0,60 m, par H. C., p. 603. — Notes pratiques : Comment on travaille l'aluminium, p. 608.

Section économique et financière. — Revues, analyses et informations : La production du pétrole en France, p. 609 ; Les importations de matériel électrique en Espagne, p. 610. — Assemblées générales : Electro-Entreprise, p. 611 ; Electricité et Gaz du Nord, p. 611 ; Compagnie des Tramways de Roubaix et de Tourcoing, p. 612.

Section de législation. — Législation, jurisprudence, réglementation : Jurisprudence, p. 613 ; Loi relative aux conventions collectives de travail, p. 613 ; Loi sur les unités de mesure, p. 616.

Nécrologie : Xavier-Georges-Frédéric Devaux-Charbonnel. — Un de nos plus anciens et distingués collaborateurs (de *La Lumière Electrique* et de l'*Eclairage Electrique*), M. Devaux-Charbonnel, ingénieur en chef des Postes et Télégraphes, est mort le 1er mars 1919, emporté par la grippe. L'Administration des Postes et Télégraphes fait ainsi une grande perte. Cette perte est aussi profondément ressentie par tous ceux qui s'intéressent à la physique et plus particulièrement à l'électricité.

Devaux-Charbonnel, après avoir passé par l'Ecole Polytechnique, avait complété ses études scientifiques à l'Université de Paris ; il avait acquis le grade de licencié ès-sciences mathématiques et de licencié ès-sciences physiques et s'était voué d'abord à l'astronomie.

Il avait été astronome au Chili et avait consacré, dans cette première période de sa vie, des publications à l'exposé d'une nouvelle méthode pour déterminer les longitudes en mer au moyen des occultations d'étoiles par la lune. Ces débuts expliquent pourquoi il chercha plus tard, après la pose du câble de Majunga à Mozambique à laquelle il avait coopéré, à déterminer, en employant la télégraphie sous-marine, la différence de longitude entre ces deux points d'aboutissement du câble. Mais c'est dans la détermination de la longitude Brest-Dakar qu'il remporta, en 1911, un véritable succès, puisqu'il obtint une précision tout à fait comparable à celle que permettait d'avoir la télégraphie sans fil.

Désireux de revenir habiter en France, Devaux-Charbonnel prit part au concours de l'Ecole supérieure des Télégraphes et fut nommé élève-ingénieur des Postes et Télégraphes en 1891 ; en 1894, il fut nommé ingénieur du Service des Câbles sous-marins.

Dans ces services, il exécuta d'intéressantes études et réalisa d'importants progrès. Tout d'abord, il précisa le nombre de signaux qu'on peut recevoir par minute en étudiant les courbes recueillies sur les bandes des récepteurs ; contrairement à la formule de Wunschendorff, il montra que la loi donnée par Thomson est vraie dans tous les cas. Il prit une part très active à la détermination et la spécification des câbles téléphoniques franco-anglais et découvrit une excellente méthode, actuellement adoptée par l'Administration française, pour la détermination de la capacité des câbles sous-marins ; il donna une formule qui permet de la déduire très simplement de la charge prise par un condensateur placé en cascade devant le câble, ce qui reproduit les conditions mêmes d'exploitation des longs câbles.

Il fut ensuite attaché pendant quelques années à la Direction technique des Postes et Télégraphes de la région de Paris et s'occupa des questions relatives à la théorie des courants téléphoniques ; à cette époque, les formules d'affaiblissement étaient encore peu connues ou mal comprise en France, et l'on ne connaissait pas le

Digitized by Google

rôle des réflexions qui se produisent à la réunion de deux tronçons de câbles de caractéristiques différentes ; Devaux-Charbonnel éclaircit et précisa cette question ; ses connaissances mathématiques, dont il n'abusait pas, car il était avant tout physicien par principe, lui permettaient de manier facilement le calcul et d'en interpréter les résultats. En 1908, il publia sur « l'État actuel de la Science électrique (1) » un livre extrêmement attachant et instructif à un double titre : il donne avec clarté et simplicité le résumé des meilleures méthodes de mesures que l'on peut employer pour l'étude des lignes et des appareils et il le termine par une revue des hypothèses les plus modernes, en particulier par un exposé de la théorie des ions et des électrons.

Cette dernière partie était la reproduction d'une série de conférences très brillantes faites par lui à l'amphithéâtre de l'Ecole professionnelle supérieure des Postes et des Télégraphes.

C'est parce que Devaux-Charbonnel était toujours très bien informé et que son esprit clair se mettait immédiatement et sans difficulté au courant de toutes les nouveautés, qu'il tint un rôle prépondérant à la onzième Conférence internationale des techniciens des Administrations des Télégraphes et des Téléphones.

Les problèmes qui s'imposaient à l'attention étaient ceux de la propagation du courant téléphonique, de la standardisation, de l'analyse de la voix. A chacune de ces questions, M. Devaux-Charbonnel apporta une réponse et sa contribution aux études téléphoniques fut de premier ordre.

X.-G.-F. Devaux-Charbonnel
4 juin 1865-1er mars 1919.

D'une façon très simple, en arrêtant les fréquences très basses par un condensateur et les plus hautes par une self-inductance, il montra quelle était l'ouverture de la fenêtre par où la voix humaine pouvait passer sans que son intelligibilité fût trop compromise.

Déjà auparavant, il avait essayé d'analyser à l'oscillographe les voyelles émises par la voix humaine ; les constatations qu'il avait faites ainsi paraissaient n'être pas tout à fait d'accord avec la théorie de la vocale d'Helmholtz.

Peu après, il indiqua une méthode simple pour la détermination expérimentale de l'affaiblissement et de la caractéristique. Il avait déjà publié, sous son nom seul, six ou sept notes aux comptes rendus de l'Institut. La précédente se rapportait à un sujet connexe, celui des lignes téléphoniques artificielles ; il montra que dans le cas des courants périodiques en régime permanent, le problème perdait beaucoup de sa complication, et qu'on pouvait recourir à des combinaisons simples de résistances et de capacité. Partout on voit paraître son grand talent de simplification.

Il rendit à l'Administration française un important service en reprenant, de sa propre initiative, l'étude de la combinaison de deux circuits téléphoniques pour réaliser un circuit fantôme ; en opérant lui-même sur les lignes d'une façon méthodique, il obtint une complète réussite. Les principes qu'il avait appliqués aux circuits de Paris à Rouen ont permis depuis de constituer un grand nombre de communications du même genre. Doué du sens expérimental et du goût de l'expérimentation, Devaux-Charbonnel fit d'intéressantes expériences sur les courants télégraphiques et téléphoniques. S'étant bien rendu maître des conditions d'emploi de l'oscillographe Blondel, il put aborder expérimentalement une foule de problèmes : la forme des courbes de courant à l'arrivée, l'influence de la constante de temps des appareils récepteurs, la mesure de la self-induction des lignes en cuivre et en fer. L'expérience ainsi acquise lui permettait de porter un jugement autorisé sur la sensibilité des divers relais, sur la comparaison des appareils rapides, etc. On lui doit aussi d'importants perfectionnements aux méthodes de mesures des lignes télégraphiques aériennes : procédé pour éliminer, dans la mesure d'une résistance au pont de Wheatstone, l'influence de la force électromotrice de terre parasite; mode opératoire pour la mesure des résistances par la déviation directe quand la ligne est parcourue par des courants variables parasites, dus au voisinage d'une voie ferrée électrifiée ; discussion des causes d'erreurs dans la mesure des capacités de fils télégraphiques, distinction

(1) H. Poincaré écrivit la préface de l'*Etat actuel de la Science électrique* ; il disait : « cet ouvrage n'est pas seulement un traité didactique destiné à la vulgarisation, c'est une œuvre « véritablement originale ».

Digitized by Google

de la self-induction apparente et réelle; mesure électrique des temps très courts par la décharge du condensateur.

Elu président de la Section de Télégraphie et de Téléphonie au Congrès international de Marseille de 1908, il y présenta un remarquable rapport sur les appareils télégraphiques rapides. Comme membre de la Commission interministérielle de Télégraphie sans fil, il préparait un intéressant rapport sur la radiotélégraphie.

Comme membre du Comité d'Electricité au Ministère des Travaux Publics, il a publié en 1916 un résumé fort remarquable au sujet de la protection des lignes télégraphiques ou téléphoniques contre les troubles dus au courant monophasé de traction. C'est un document qui marque une date et auquel les intéressés devront se reporter pour profiter de l'expérience acquise.

Il était estimé par tous ceux qui font honneur à la technique électrique et la Société française des Electriciens le choisit pour vice-président en 1909-1911, et pour président pour la session 1919-1920; la mort vint l'empêcher d'occuper le fauteuil présidentiel.

Colonel J.-B. POMEY,
Ingénieur en chef des Télégraphes.

Bibliographie : Cours de comptes courants à intérêts. (Avec exercices et corrigés d'après le programme de la Société de comptabilité de France reconnue d'utilité publique et suivi d'un appendice relatif au moratorium) par Paul Louis MARTINEAU, sous-chef de la division de la comptabilité du Comptoir national d'Escompte de Paris, professeur à la Société de Comptabilité de Paris (1).

La matière contenue dans ce livre a servi de base aux cours que l'auteur a professés, de 1908 à 1917, à la Société de Comptabilité de France ; elle a donc la sanction d'une expérience de dix années, confirmée par les appréciations élogieuses de M. Raphaël Georges Lévy, membre de l'Institut, président de la Compagnie des Experts-comptables de France. L'éminent spécialiste a en effet écrit, pour cet ouvrage, la préface suivante : « La comptabilité est une science dont la connaissance est indispensable à tout individu qui s'occupe d'affaires commerciales, industrielles et financières. Elle l'est également à tout agriculteur exploitant une terre qui dépasse les bornes étroites du champ dont la famille consomme tous les produits. La comptabilité embrasse des branches diverses, parmi lesquelles le compte courant, c'est-à-dire le mode d'évaluer, à des époques déterminées, la situation réciproque de deux ou plusieurs personnes ou sociétés, tient une place importante.

» M. Martineau a donc eu raison de consacrer un volume spécial à l'étude des comptes courants. Il nous explique ce que c'est qu'un compte, ce qu'on doit y porter au débit et au crédit, ce qu'en est le solde. Il nous en rappelle les caractères juridiques, il définit les différents taux d'intérêt, simple, composé, réciproque, différentiel, fixe, variable. Il nous indique les cas où les intérêts doivent être capitalisés. Il expose les méthodes selons lesquelles ils se calculent, celle des nombres ou des diviseurs fixes, celle des parties aliquotes, celle des soldes. Dans le système des compensations, il nous fait successivement comprendre, en expliquant leurs avantages et leurs inconvénients, la méthode directe, progressive ou ancienne, la méthode indirecte, rétrograde ou nouvelle. Il nous en montre l'application aux comptes à taux différentiels ou non réciproques. Il nous donne un exemple de compte à taux variables.

» M. Martineau consacre un chapitre de son ouvrage aux commissions, dont il indique la nature, les taux usuels et le mode de calcul.

» Des considérations sur l'année commerciale, la confection, l'expédition des extraits de compte, sur la prescription en matière de comptes courants, sont d'une portée qui n'échappera à personne.

» De précieuses explications sont fournies sur les comptes chez autrui (*Nostro*) et sur les comptes en deux ou plusieurs monnaies. Nous voyons jouer un compte en participation entre associés agissant sur diverses places, et se résoudre ainsi des problèmes de change intéressants.

» L'ouvrage de M. Martineau est celui d'un praticien rompu à tous les problèmes de la comptabilité. Il est, en même temps, l'œuvre d'un expert réfléchi, qui a dégagé l'esprit des règles suivies et qui en fait comprendre le sens. A ces divers titres, il mérite d'être recommandé aux gens de métier et au public en général. Je suis heureux de le leur présenter. »

(1) 1 vol, 14 cm × 22 cm, de XX — 168 p. édité par Berger-Levrault, libraires éditeurs, Paris, 5-7 rue des Beaux-Arts et Nancy, 18, rue des Glacis. Prix broché, 5 fr avec majoration de 20 pour 100 en sus.

Bibliographie : Formulaire de l'Electricien et du Mécanicien, par E. HOSPITALIER et G. ROUX (1). — Ce volume est la vingt-neuvième édition du formulaire d'Hospitalier si précieux pour les électriciens. Il contient de nombreuses additions par rapport à la précédente édition. M. Roux s'est efforcé avec succès d'introduire dans son formulaire toutes les données possibles concernant les progrès réalisés, pendant la guerre, dans les domaines de l'Electricité et de la Mécanique. Tous les tableaux de chiffres ont été revus et augmentés, des renseignements tout à fait nouveaux ont été introduits. Parmi eux nous pouvons citer en particulier : de nombreux nomogrammes d'après M. Maurice d'Ocagne, relatifs au calcul des lignes électriques, des colonnes en fonte, des poteaux en bois, de l'écoulement de l'eau dans les tuyaux et dans les canaux, de l'écoulement de la vapeur, etc. Nous remarquons également une étude de M. Ch. Maurin sur la résistance de l'eau et le fonctionnement de l'hélice aérienne en mouvement de translation. Le chapitre sur les alliages de nickel, tant employés pendant la guerre, a subi une grande extension.

Des renseignements nouveaux sont donnés sur la porcelaine électrotechnique, les isolateurs-types, les règles d'unification des conditions techniques de la production et de la distribution de l'énergie électrique.

Nous signalons aussi des diagrammes de montage des principaux compteurs et les caractéristiques de leur construction. Enfin, dans la partie technique, se trouvent des renseignements inédits sur les applications thermiques de l'électricité au chauffage industriel et à l'obtention de la fonte et de l'acier.

Pour terminer, tous les documents officiels relatifs à la production et à la distribution de l'énergie ont été mis à jour.

La multiplicité des renseignements donnés par le formulaire d'Hospitalier en font le bréviaire indispensable de l'ingénieur électricien.

(1) Un volume 11 cm × 18 cm, 1486 pages, édité par Masson et Cie, 120, boulevard Saint-Germain, Paris. Prix, cartonné, 20 fr, plus majoration provisoire de 10 pour 100.

Digitized by Google

Bibliographie : Der neue Nivellement-Horizont der Schweitz (R. P. N. = 373,6). (Le nouveau plan de niveau de la Suisse, Repère de la Pierre du Niton = 376,6 m), par H. Zolly, ingénieur-chef du Service géodésique du ministère de la Guerre suisse et W.-E. Bossard, adjoint technique au Service des Eaux (1). — Cette brochure a été publiée sous les auspices du Service des Eaux suisse ressortissant au Ministère de l'Intérieur. Dans la première partie, M. H. Zolly nous rappelle qu'il existe dans le port de Genève deux roches granitiques connues sous le nom de Pierres du Niton; l'une est à 40 m et l'autre à 115 m de la rive gauche. Celle-ci, plus allongée et orientée à peu près perpendiculairement à la rive porte une plaque de nivellement en bronze établie en 1820 par G.-H. Dufour, ingénieur du canton et de la ville de Genève. La plaque a la forme d'un disque de 85 mm de diamètre; elle est horizontale et placée à 3 cm environ en contrebas du point culminant de la roche. L'auteur nous fait alors l'historique des opérations géodésiques entreprises pour déterminer la cote de ce repère et qui ont donné 376,86 m; mais une discussion approfondie des mesures anciennes a révélé une erreur de 3,3 m sur ce nombre, ce qui concordait d'ailleurs avec les résultats plus récents qui attribuait au repère une altitude de 373,6 m, à quelques centimètres près. Ce dernier nombre a été définitivement adopté et, par la loi du 15 décembre 1910, le plan de niveau de la Suisse rapporté au Repère de la Pierre du Niton (R. P. N.) a été fixé à l'altitude de 373,6 m.

M. Bossard fait ressortir, dans la seconde partie de la brochure, l'intérêt qu'il y a pour la Suisse à se rallier à ce nouveau chiffre, tant pour des raisons d'ordre intérieur que pour les comparaisons avec les nivellements étrangers. Déjà 6 157 plaques nouvelles ont été apposées et correspondent soit à des déterminations inédites, soit à des déterminations anciennes corrigées. Les plaques sont ou verticales et percées en leur milieu, ou horizontales et surmontées d'un bouton; elles sont de forme elliptique, ou circulaire avec ou sans croix; ces trois formes correspondant à des points fixes dont le rôle est défini dans la brochure. Ces quelques indications sont utiles, en particulier aux touristes. — B. C.

Bibliographie. — Signalons une série de quatre ouvrages relatifs à la mécanique industrielle que vient d'éditer la librairie Dunod et Pinat :

Les tours. — *Construction, essais, emplois, exemples pratiques de travaux*, par O. Perrigo. Traduction de la 2e édition américaine par M. Maurice Varinois (2).

Le Fraisage. — *La fraise. Les machines à fraiser. Les machines à tailler les engrenages. Exemples de travaux de fraisage*, par M. Maurice Varinois (3).

Calcul des ressorts. — *Formules pratiques et barèmes*, par E. Desgardes (4).

(1) 1 vol. 14 cm × 21,5 cm de 22 pages, avec 3 phot., édité par Rosch et Schatzmann, Berne. Prix broché, 1 fr.

(2) Un volume, format 16 cm × 25 cm, 419 pages, 341 figures. Prix, 25 fr.

(3) Un volume, format 16 × 25 cm, 684 pages, 586 figures. Prix, 45 fr.

(4) Un volume, format 18 cm × 28 cm, 75 pages, 25 figures. Prix, 5 fr.

La vérification des pièces interchangeables, par Paul Négrier. — Ce dernier ouvrage est particulièrement intéressant pour les fabrications en série. L'auteur y examine successivement les calibres de vérification et d'inspection en décrivant les différents systèmes amplificateurs (à levier, à cadran, à micromètre) il se termine par des exemples de vérification, particulièrement des pas de vis et des engrenages (5)

La Conférence interalliée des Associations de Chimie. — La Conférence interalliée des Associations de Chimie pure et appliquée a commencé ses travaux lundi matin, 14 avril 1919, sous la présidence de M. Moureu, membre de l'Institut.

M. Moureu a, dans son allocution, résumé comme il suit le programme de la Délégation française : Organisation de la chimie interalliée : établissement d'une liaison intime entre les groupements de science pure et de science appliquée des différents pays, dans le but de coordonner leurs moyens d'action technique et scientifique et de contribuer à l'avancement de la chimie dans toute l'étendue de son domaine.

Cette proposition a reçu l'adhésion de principe des délégués des différentes nations représentées.

M. le professeur Haller a fait part de la dissolution prochaine de l'ancienne Association internationale de Chimie qui comprenait des représentants des pays ennemis. Sur la proposition de M. le professeur Henry Louis, délégué de la Grande-Bretagne, un vote unanime a été émis concernant la création d'une Fédération interalliée qui pourra comprendre les Associations de certains pays neutres.

A 3 heures, à l'Hôtel de la Société des Ingénieurs civils, eut lieu la réception des Associations alliées sous la présidence de M. Fleurent, directeur de l'Office des Produits chimiques et pharmaceutiques au Ministère du Commerce, délégué par M. Clémentel, ministre du Commerce, empêché de prendre la présidence.

Au cours de cette séance on entendit des communications fort intéressantes de MM. Henry Louis, président de la Society of Chemical Industry; Frédéric Cottrel, chef du Service métallurgique du Bureau des Mines des Etats-Unis et Charles-H. Mac Dowel.

Mardi matin, la conférence interalliée a rédigé un programme d'organisation de la Fédération interalliée et a décidé de tenir une nouvelle série de séances à Londres au cours du mois de juillet.

Mardi après-midi a eu lieu la séance de clôture sous la présidence du professeur Haller, M. Ernest Solvay n'ayant pu venir par raison de santé. Deux communications furent faites par M. John-C. Pennic et M. Paul Otlet.

Mardi soir, les membres de la Conférence et les membres des différentes Associations interalliées se sont réunies en un banquet présidé par M. Loucheur, ministre de la Reconstitution industrielle.

Mercredi, les membres de la Conférence se sont rendus, sur l'invitation de la Société des Manufactures des Glaces et Produits chimiques de Saint-Gobain, Chauny et Cirey, dans les pays libérés pour visiter la région industrielle systématiquement dévastée de Chauny.

Nous donnerons dans un prochain numéro un compte rendu détaillé de la Conférence interalliée des Associations de Chimie. — H. C.

(5) Un volume, format 14 cm × 21 cm, 104 pages, 106 figures. Prix, 4 fr 50.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Applications du calcul symbolique à l'intégration des équations différentielles linéaires simultanées et à la résolution de certains problèmes de mécanique

Dans ses précédents articles (1), *l'auteur a exposé les principes du calcul symbolique et ses applications à l'intégration des équations différentielles linéaires à coefficients constants, en particulier à l'intégration des équations différentielles de l'électrotechnique. Il examine dans ce nouvel article les systèmes d'équations différentielles linéaires simultanées et leur application à l'étude de certains mouvements oscillatoires envisagés en mécanique.*

1. — **Solutions communes à plusieurs équations différentielles simultanées à une inconnue.** — Nous employerons les mêmes notations que dans les articles précédents et nous représenterons par f (D) une forme différentielle linéaire à coefficients constants telle que

$$f(D) = a_0 \frac{d^n}{dx^n} + a_1 \frac{d^{n-1}}{dx^{n-1}} + \ldots + a_{n-1} \frac{d}{dx} + a_n;$$

une équation différentielle linéaire à une fonction inconnue y avec un second membre u (x) s'écrit alors

$$f(D)\, y = u(x).$$

Considérons p équations simultanées à une fonction inconnue y

$$(1) \quad f_1(D)\, y = u_1, \quad f_2(D)\, y = u_2, \ \ldots, \ f_p(D)\, y = u_p;$$

désignons par d (D) le plus grand commun diviseur des polynomes f_1 (D), f_2 (D), ..., f_p (D) ; il résulte d'un théorème de la théorie du plus grand commun diviseur, et dont nous ne rappellerons pas la démonstration, que l'on peut déterminer, en effectuant des divisions successives, des polynomes entiers g_1 (D), g_2 (D), ... g_p (D) tels que l'on ait identiquement

$$(2) \qquad g_1 f_1 + g_2 f_2 + \ldots + g_p f_p = d(D).$$

Si nous multiplions symboliquement les équations (1) de rangs i et j respectivement par

$$\frac{f_j(D)}{d(D)} \quad \text{et} \quad \frac{f_i(D)}{d(D)},$$

et si nous retranchons les résultats, nous obtenons les relations

$$(3) \qquad \frac{f_j(D)}{d(D)}\, u_i - \frac{f_i(D)}{d(D)}\, u_j = 0,$$

qui doivent être remplies pour toutes les valeurs de i et j. Ce sont les conditions nécessaires auxquelles doivent satisfaire les seconds membres pour que les équations (1) soient compatibles.

D'autre part, si nous multiplions les deux membres des équations (1) respectivement par les polynomes g_1, g_2, ..., g_p entrant dans la relation (2) et si nous ajoutons les résultats, nous obtenons l'équation

$$(4) \qquad d(D)y = g_1(D)u_1 + g_2(D)u_2 + \ldots + g_p(D)u_p,$$

à laquelle doivent satisfaire les solutions communes aux équations (1).

Nous allons montrer que les conditions (3) sont suffisantes, et que, si elles sont remplies, toute solution de l'équation (4) est solution du système (1). Montrons par exemple qu'elle satisfait à la première ; multiplions les deux membres de (4) par $\frac{f_1(D)}{d(D)}$; nous avons

$$f_1(D)y = \frac{f_1 g_1}{d}\, u_1 + \frac{f_1 g_2}{d}\, u_2 + \ldots + \frac{f_p g_p}{d}\, u_p;$$

en utilisant les relations (3), le second membre s'écrit

$$\frac{g_1 f_1}{d}\, u_1 + \frac{g_2 f_2}{d}\, u_1 + \ldots + \frac{g_p f_p}{d}\, u_1,$$

et il se réduit à u_1, d'après l'identité (2) ; la proposition est donc démontrée.

On aperçoit l'analogie qui existe entre ce calcul et la recherche du plus grand commun diviseur de plusieurs polynomes ; cette analogie est encore accentuée

(1) *Revue Générale de l'Electricité*, 29 septembre et 13 octobre 1917, t. II, p. 483 et 563.

Digitized by Google

par l'emploi des fractions symboliques, en écrivant :

$$y = \frac{u_1}{f_1(D)} = \frac{u_2}{f_2(D)} = \ldots = \frac{u_p}{f_p(D)}$$
$$= \frac{g_1(D)\,u_1 + g_2(D)\,u_2 + \ldots + g_p(D)u_p}{g_1(D)\,f_1(D) + g_2(D)\,f_2(D) + \ldots + g_p(D)\,f_p(D)},$$

et remplaçant le dernier dénominateur par d (D).

2. — **Système de n équations différentielles linéaires simultanées à coefficients constants à n inconnues.** — Nous supposons que n fonctions inconnues $y_1, y_2, \ldots, y_n$ doivent satisfaire à n équations différentielles dont les premiers membres contiennent linéairement ces fonctions et plusieurs de leurs dérivées avec des coefficients constants, et dont les seconds membres sont des fonctions données. En employant la notation symbolique, nous écrirons ces équations sous la forme suivante :

$$(5)\quad \begin{cases} f_{11}(D)y_1 + f_{12}(D)y_2 + \ldots + f_{1n}(D)y_n = u_1(x), \\ f_{21}(D)y_1 + f_{22}(D)y_2 + \ldots + f_{2n}(D)y_n = u_2(x), \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ f_{n1}(D)y_1 + f_{n2}(D)y_2 + \ldots + f_{nn}(D)y_n = u_n(x). \end{cases}$$

La discussion et la résolution de ce système dépendent de la considération du déterminant des coefficients des inconnues, que nous appellerons

$$\Delta(D) = |\, f_{ij}(D)\,| \quad (i, j = 1, 2, \ldots, n);$$

nous nous limiterons au cas où ce déterminant n'est pas nul (1), et nous désignerons d'une manière générale par F_{ij} son mineur relatif à f_{ij}.

Lorsque l'opération $\Delta\,(D)^{-1}$ est susceptible d'une détermination principale pour les fonction $u_1, u_2, \ldots u_n$, le calcul de la détermination principale de $y_1, y_2, \ldots y_n$ se fait très simplement en appliquant la règle de Cramer pour la résolution des équations algébriques du premier degré ; nous savons en effet que l'on peut sans crainte effectuer toutes les opérations et simplifications élémentaires sur les fonctions entières ou fractionnaires du symbole D. Nous obtenons ainsi les formules suivantes pour calculer la détermination principale unique des inconnues

$$(6)\quad y_i = \frac{F_{1i}(D)u_1 + F_{2i}(D)u_2 + \ldots + F_{ni}(D)u_n}{\Delta(D)},$$

(1) Le cas général a été examiné par A. Vaschy ; Sur l'intégration des équations différentielles linéaires à coefficients constants. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXVI (1896 1er semestre), p. 491, et *Journal de l'École Polytechnique*, 63e cahier (1893), p. 39. Un autre mode de discussion des équations simultanées à coefficients quelconques a été employé par L. Sauvage à l'aide des diviseurs élémentaires de Weierstrass. *Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse* t. VIII (1894) et t. IX (1895) supplément. Je me propose de développer, dans un article qui paraitra dans les *Nouvelles Annales de Mathématiques*, un procédé de discussion analogue à celui qu'a employé Rouché pour les équations linéaires algébriques.

le numérateur pouvant être écrit sous forme de déterminant.

Le cas le plus intéressant est celui où les seconds membres sont de la forme $P(x)\,e^{\rho x}$, où $P(x)$ est un polynome, ou bien sont des sommes de termes de cette nature. Il suffit d'examiner le cas où les seconds membres sont

$$u_1 = P_1(x)e^{\rho x}, \quad u_2 = P_2(x)e^{\rho x}, \ldots, u_n = P_n(x)e^{\rho x},$$

et où l'exposant ρ est le même pour tous; s'il en était autrement, on calculerait d'abord la solution correspondant aux termes ayant tous le même exposant ρ_1, puis la solution correspondant aux termes ayant tous le même exposant ρ_2, etc., et l'on prendrait pour chaque inconnue la somme des solutions partielles ainsi obtenues.

En appliquant la formule (24) du n° 7 (t. II, p. 564), nous aurons la détermination principale

$$(7)\quad y_i = e^{\rho x}\left[\frac{F_{1i}(\rho + D)}{\Delta(\rho + D)}P_1(x) + \ldots + \frac{F_{ni}(\rho + D)}{\Delta(\rho + D)}P_n(x)\right];$$

nous avons vu comment chacune des fractions entrant dans la parenthèse doit être remplacée par une série entière dont les premiers termes suffisent pour le calcul. En particulier, si les polynomes $P_1, P_2, \ldots, P_n$ se réduisent à des constantes $k_1, k_2, \ldots, k_n$, on a simplement

$$y_i = e^{\rho x}\left[\frac{k_1F_{1i}(\rho) + k_2F_{2i}(\rho) + \ldots + k_nF_{ni}(\rho)}{\Delta(\rho)}\right].$$

Lorsque l'opération $\Delta\,(D)^{-1}$ appliquée à $u_1, u_2, \ldots u_n$ ne fournit pas de détermination principale et surtout lorsqu'on veut obtenir la solution générale des équations (5), le calcul précédent ne suffit plus ; on serait tenté d'ajouter au second membre des formules (6) la fraction $\frac{0}{\Delta\,(D)}$ qui introduit les constantes arbitraires, mais les constantes entrant dans les différentes fonctions inconnues ne sont pas indépendantes les unes des autres, et il est nécessaire de modifier le calcul conduisant aux formules de Cramer.

Nous allons indiquer un mode de calcul de la solution générale des équations (5), qui est valable, quels que soient les seconds membres ; nous nous limiterons toutefois au cas où les mineurs F de Δ relatifs aux éléments d'une colonne convenablement choisie n'ont pas de diviseur commun ; nous pouvons toujours supposer que ce sont les mineurs relatifs aux éléments de la première colonne.

Nous éliminerons $y_2, y_3, \ldots, y_n$ en multipliant les deux membres de l'équation de rang k par F_{k1} et ajoutant les résultats ; nous obtiendrons ainsi l'équation en y_1

$$\Delta(D)y_1 = F_{11}(D)u_1 + F_{21}(D)u_2 + \ldots + F_{n1}(D)u_n.$$

Digitized by Google

dont la solution générale est

$$y_1 = \frac{F_{11}(D)}{\Delta(D)} u_1 + \frac{F_{21}(D)}{\Delta(D)} u_2 + \ldots + \frac{F_{n1}(D)}{\Delta(D)} u_n + \frac{o}{\Delta(D)};$$

nous allons montrer que $y_2, y_3, \ldots y_n$ se déduisent ensuite de y_1 sans aucune nouvelle intégration.

Ecrivons pour cela les équations données sous la forme

$$(8)\begin{cases} f_{12}y_2 + f_{13}y_3 + \ldots + f_{1n}y_n = u_1 - f_{11}y_1, \\ f_{22}y_2 + f_{23}y_3 + \ldots + f_{2n}y_n = u_2 - f_{21}y_1, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ f_{n2}y_2 + f_{n3}y_3 + \ldots + f_{nn}y_n = u_n - f_{n1}y_1; \end{cases}$$

elles sont en nombre n par rapport à $n-1$ inconnues, mais elles sont compatibles, et $n-1$ d'entre elles peuvent suffire pour déterminer les inconnues. Supprimons la première et résolvons les $n-1$ dernières ; les coefficients des inconnues ont un déterminant égal à à $F_{11}(D)$ et l'on obtient pour calculer $y_2, y_3, \ldots y_n$ des équations dont la forme résolue est

$$F_{11}(D)y_i = Q_{2i}u_2 + Q_{3i}u_3 + \ldots + Q_{ni}u_n + V_i y_1,$$

les polynomes $Q_{2i}, Q_{3i}, \ldots$ étant les mineurs de $F_{11}(D)$ et V_i étant le mineur F_{1i}, de $\Delta(D)$ ou ce mineur changé de signe; cette formule est valable pour $i = 2, 3, \ldots, n$.

Par le même procédé, en supprimant la deuxième des équations (8), nous obtiendrons des équations de la forme

$$F_{21}(D)y_i = R_{1i}u_1 + R_{3i}u_3 + \ldots + R_{ni}u_n + W_i y_1,$$

et ainsi de suite. Mais les fonctions $F_{11}, F_{21}, \ldots$ étant premières entre elles, nous pouvons déterminer des fonctions entières $g_1, g_2, \ldots g_n$, telles que l'on ait

$$g_1F_{11} + g_2F_{21} + \ldots + g_nF_{n1} = 1;$$

si donc nous multiplions respectivement les équations que nous venons de trouver $g_1, g_2, \ldots g_n$ et si nous les ajoutons, nous obtiendrons un résultat de la forme

$$y_i = S_{1i}(D)u_1 + S_{2i}(D)u_2 + \ldots + S_{ni}(D)u_n + Z_i(D)y_1;$$

la détermination de $y_2, y_3, \ldots$ est ainsi terminée sans intégration et sans introduction de nouvelles constantes.

Lorsque $F_{11}, F_{21}, \ldots, F_{n1}$ ont un plus grand commun diviseur $d_1(D)$, les calculs ne sont plus aussi simples ; y_1 satisfait à une équation d'ordre moindre que celle que nous avons obtenue précédemment, et l'on obtient cette équation en multipliant les équations données respectivement par les quotients

$$\frac{F_{11}(D)}{d_1(D)}, \quad \frac{F_{21}(D)}{d_1(D)}, \quad \ldots, \quad \frac{F_{n1}(D)}{d_1(D)},$$

et ajoutant les résultats, on arrive ainsi à

$$\frac{\Delta(D)}{d_1(D)} y_1 = \frac{F_{11}(D)}{d_1(D)} u_1 + \ldots + \frac{F_{n1}(D)}{d_1(D)} y_n,$$

mais cette fois $y_2, y_3, \ldots y_n$ ne peuvent s'obtenir qu'en intégrant des équations dont le produit des formes symboliques est précisément $d^2(D)$; nous n'insisterons pas sur ce point qui nous entraînerait trop loin dans le cas général, mais que nous rencontrerons dans l'exemple suivant.

3. — **Exemple.** — Soit à intégrer le système d'équations simultanées

$$(D^2+6)(D-1)y_1 + D^3y_2 = u_1 = k_1e^{i(\omega x+\alpha_1)},$$
$$D(D-1)y_1 + (D^2+6)y_2 = u_2 = k_2e^{i(\omega x+\alpha_2)}.$$

Le déterminant des coefficients des inconnues est

$$\Delta(D) = 12(D-1)(D^2+3);$$

si ω n'est pas égal à $\sqrt{3}$, l'inverse de l'opération représentée par ce symbole est susceptible d'une détermination principale; nous allons nous placer dans ce cas et calculer les déterminations principales de y_1 et y_2, nous employerons les formules (6) ou un calcul élémentaire qui donnent

$$y_1 = \frac{(D^2+6)u_1 - D^3u_2}{12(D-1)(D^2+3)},$$

$$y_2 = \frac{(D^2+6)(D-1)u_2 - D(D-1)u_1}{12(D-1)(D^2+3)};$$

il suffit d'y remplacer D par ωi pour trouver

$$y_1 = \frac{(6-\omega^2)u_1 + \omega^3 i u_2}{12(\omega i - 1)(3-\omega^2)}, \qquad y_2 = \frac{(6-\omega^2)u_2 - \omega i u_1}{12(3-\omega^2)},$$

et d'utiliser les modules et les arguments des opérations auxquelles sont soumises u_1 et u_2 ; si ces dernières fonctions étaient remplacées par des sinus, il serait facile de mettre la solution sous la forme $k \sin(\omega x + \varphi,)$ par le procédé connu de composition des fonctions sinusoïdales ou des vecteurs correspondants.

Proposons-nous maintenant de calculer la solution générale des équations données ; nous commencerons par éliminer y_1 en multipliant les deux équations respectivement par D et D^2+6 et retranchant les résultats, nous aurons ainsi

$$y_2 = \frac{(D^2+6)u_2 - Du_1}{12(D^2+3)} = y_{20} + \frac{o}{D^2+3},$$

en désignant par y_{20} la détermination principale de y_2 que nous venons de calculer; nous devrons lui ajouter la valeur du symbole $\frac{o}{D^2+3}$ que l'on peut écrire sous la forme

$$C_3 \sin(\sqrt{3}x + \alpha_3).$$

C_3 et α_3 étant deux constantes arbitraires.

Digitized by Google

Pour calculer ensuite y_1 dont les coefficients dans les équations données ont le diviseur commun D — 1, nous écrirons les équations sous la forme

$$(D^2 + 6)(D - 1)\, y_1 = u_1 - D^2 y_2,$$
$$D(D - 1)\, y_1 = u_2 - (D^2 + 6)\, y_2$$

et nous remarquerons que les polynomes g_1 et g_2 entrant dans l'identité

$$g_1(D^2 + 6)(D - 1) + g_2 D(D - 1) = D - 1,$$

sont respectivement égaux à

$$g_1 = \frac{1}{6}, \quad g_2 = -\frac{D}{6};$$

en multipliant les équations précédentes par g_1 et g_2 et ajoutant les résultats, nous trouverons

$$(D - 1)\, y_1 = \frac{u_1 - D u_2}{6} + D y_2.$$

Si nous mettions à la place de y_2 la détermination principale y_{20}, nous obtiendrions ainsi la détermination principale de y_1 que nous avons déjà obtenue; il suffit donc d'ajouter à cette dernière deux termes provenant l'un de la partie complémentaire de y_2, l'autre de celle de y_1 et dont la somme est

$$\frac{D}{D - 1}\left[C_2 \sin(\sqrt{3}\, x + \alpha_2)\right] + \frac{0}{D - 1}.$$

Dans le premier terme on remplacera D par $\sqrt{3}\, i$; le symbole numérateur D a alors pour module $\sqrt{3}$ et pour argument $\frac{\pi}{2}$; le symbole dénominateur D — 1 a pour module 2 et pour argument $\frac{2\pi}{3}$, par suite l'opération fractionnaire a pour module $\frac{\sqrt{3}}{2}$ et elle a pour argument $\frac{\pi}{2} - \frac{2\pi}{3} = -\frac{\pi}{6}$; finalement la partie complémentaire à ajouter à la détermination principale de y_1 est

$$C_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \sin\left(\sqrt{3}\, x + \alpha_3 - \frac{\pi}{6}\right) + C_4 e^x,$$

C_4 étant une nouvelle constante arbitraire.

Lorsque ω est égal à $\sqrt{3}$, il n'y a plus de détermination principale de y_1 et y_2, il faut alors utiliser la formule (7) en remarquant que $\Delta(\rho) = 0$ et posant alors

$$\Delta(\rho + D) = D\left[\Delta'(\rho) + \frac{D}{2}\Delta''(\rho) + \ldots\right];$$

On obtient alors, tous calculs faits

$$y_2 = \left(\frac{-\sqrt{3}\, i}{24} u_2 - \frac{1}{24} u_1\right) x + C_2 \sin(\sqrt{3}\, x + \alpha_2)$$

$$y_1 = \left(\frac{-\sqrt{3}\, i}{24} u_2 - \frac{1}{24} u_1\right)\left(\frac{3 - \sqrt{3}\, i}{4} x + \frac{1 - \sqrt{3}\, i}{8}\right)$$
$$- \frac{1 + \sqrt{3}\, i}{24} u_1 - \frac{3 - \sqrt{3}\, i}{24} u_2 + C_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \sin\left(\sqrt{3}\, x + \alpha_3 - \frac{\pi}{6}\right) + C_4 e^x.$$

4. Application du calcul symbolique à l'intégration des équations de certains mouvements vibratoires. — Les méthodes du calcul symbolique trouvent leur application dans un grand nombre de problèmes concernant les mouvements vibratoires de systèmes simples ou complexes, avec ou sans amortissement, avec ou sans forces imposées; à ces questions se rattachent celles des phénomènes de résonance et la recherche des vitesses critiques de rotation des systèmes tournants. Nous traiterons quelques problèmes types pour montrer l'avantage des méthodes symboliques.

Problème. — Sur une droite Ox se déplacent n points matériels $A_1, A_2, \ldots, A_n$ de masses $m_1, m_2, \ldots, m_n$; le premier relié à un point fixe A_0 de la droite par une tige élastique ou un ressort de masse négligeable; chacun des points suivants $A_2, A_3, \ldots, A_{n-1}$ est relié de la même manière à celui qui le précède et à celui qui le suit, enfin le dernier A_n est de même relié à un point fixe A_{n+1} par une tige élastique ou un ressort. A l'état naturel, on suppose que les points sont en équilibre et que les tiges n'éprouvent aucune tension; mais lorsquelles subissent des variations de longueur, les tensions auxquelles elles sont soumises sont proportionnelles à ces variations; nous appellerons $a_{i,i+1}$ ou $a_{i+1,i}$ la tension qui produit un allongement égal à l'unité pour la tige A_iA_{i+1}; les coefficients a sont des nombres positifs.

Supposons que les points matériels se déplacent le long de la droite Ox, sous l'action de forces données agissant le long de cette droite; nous désignerons par x_i le déplacement du point A_i à partir de sa position naturelle d'équilibre et par F_i la force appliquée à ce point; à cette force viennent s'ajouter les tensions des tiges A_iA_{i+1} et A_iA_{i-1}, respectivement égales à

$$a_{i,i+1}(x_{i+1} - x_i) \quad \text{et} \quad -a_{i,i-1}(x_i - x_{i-1});$$

il en résulte que l'équation du mouvement du point A_i est

$$m_i \frac{d^2 x_i}{dt^2} = F_i + a_{i,i+1}(x_{i+1} - x_i) - a_{i,i-1}(x_i - x_{i-1}).$$

Nous n'étudierons que le cas où les forces imposées F_i sont nulles ou sont des fonctions données du temps: ce sont alors généralement des fonctions sinusoïdales de t. En employant la notation symbolique, on voit que

Digitized by Google

l'on a à intégrer le système d'équations simultanées

$$\begin{aligned}
&m_1 D^2 + (a_{10} + a_{12}) x_1 - a_{12} x_2 &= F_1,\\
-a_{21} x_1 + &(m_2 D^2 + a_{21} + a_{23}) x_2 - a_{23} x_3 &= F_2,\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
-a_{i,i-1} x_{i-1} + &(m_i D^2 + a_{i,i-1} + a_{i,i+1}) x_i - a_{i,i+1} x_{i+1} &= F_i,\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
-a_{n,n-1} x_{n-1} + &(m_n D^2 + a_{n,n-1} + a_{n,n+1}) x_n &= F_n.
\end{aligned}$$

La discussion et l'intégration de ce système dépendent, comme nous l'avons vu, de la considération du déterminant

$$\Delta(D) = \begin{vmatrix} m_1 D^2 + a_{10} + a_{12} & -a_{12} & 0 & \ldots & 0 \\ -a_{12} & m_2 D^2 + a_{21} + a_{23} & -a_{23} & \ldots & 0 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & m_n D^2 + a_{n,n-1} + a_{n,n+1} \end{vmatrix}.$$

Si l'on remplace D^2 par $-S$, on obtient une fonction $\Delta(S)$ analogue à celle que l'on rencontre en algèbre dans la réduction simultanée de deux formes quadratiques; il résulte de théories connues que l'équation $\Delta(S) = 0$ a, dans le cas actuel, toutes ses racines réelles et positives et, par conséquent, que l'équation $\Delta(D) = 0$ a toutes ses racines imaginaires pures de la forme $\pm \omega i$. Nous allons rappeler ici un mode de démonstration de cette propriété, mode que nous retrouverons un peu plus loin dans une question analogue.

Désignons par Δ_1 le déterminant obtenu en supprimant dans Δ la première ligne et la première colonne, par Δ_2 celui qui se déduit de même de Δ_1 et d'une manière générale par Δ_i celui que l'on obtient en supprimant dans Δ les i premières lignes et les i premières colonnes; en développant le déterminant $\Delta(D)$, on a l'identité

$$\Delta(D) = (m_1 D^2 + a_{10} + a_{12})\,\Delta_1(D) - a_{12}^2 \Delta_2(D)$$

et d'une manière analogue pour toute valeur de i

$$\Delta_{i-1}(D) = (m_i D^2 + a_{i,i-1} + a_{i,i+1})\,\Delta_i(D) - a_{i,i+1}^2 \Delta_{i+1}(D).$$

La suite des fonctions suivantes

$$\Delta(D),\quad \Delta_1(D),\quad \Delta_2(D),\quad \ldots\ldots,\quad \Delta_{n-1}(D),\quad \Delta_n = 1,$$

où D^2 est considéré comme la variable, jouit des propriétés de la suite de Sturm [1], car si une fonction intermédiaire s'annule pour une valeur réelle de D^2, les deux fonctions qui la comprennent acquièrent des valeurs de signes contraires. Or, si l'on remplace D^2 par o, on constate de proche en proche que toutes les fonctions de la suite acquièrent des valeurs toutes positives; au contraire, si l'on remplace D^2 par $-\infty$, les résultats sont alternativement de signes contraires; on en conclut que toutes les racines de l'équation $\Delta(D) = 0$, où D^2 est l'inconnue, sont toutes réelles et négatives, ce que nous voulions démontrer. On peut ajouter que les racines de cette équation sont séparées par celles de l'équation obtenue en annulant la fonction suivante $\Delta_1(D)$, et cette propriété s'étend à deux fonctions consécutives quelconques de la suite.

Nous excluons le cas où l'équation $\Delta(D) = 0$ aurait des racines multiples, cela ne peut avoir lieu que si l'un des coefficients $a_{i,i+1}$ est nul et alors le problème change de nature; si nous désignons par $-\omega_1^2$, $-\omega_2^2, \ldots, -\omega_n^2$ les racines réelles de l'équation où D^2 est considéré comme inconnue, celles de l'équation $\Delta(D) = 0$ sont égales à $\pm\omega_1 i, \pm\omega_2 i, \ldots \pm\omega_n i$.

Si les forces $F_1, F_2, \ldots$ sont nulles, c'est-à-dire si l'on abandonne le système à lui-même après lui avoir donné une impulsion initiale, les valeurs de $x_1, x_2, \ldots x_n$ sont toutes de la forme

$$x = \frac{0}{\Delta(D)} = C_1 \sin(\omega_1 t + \alpha_1) + \ldots + C_n \sin(\omega_n t + \alpha_n),$$

mais les coefficients C et les arguments α ne sont pas tous arbitraires; nous avons vu qu'ils s'expriment au moyen de $2n$ d'entre eux.

Si les forces F_i ne sont pas nulles et sont des fonctions sinusoïdales du temps, nous pouvons supposer qu'elles sont de la forme $l_i \sin(\omega t + \alpha_i)$ le coefficient ω étant le même pour toutes; si cela n'avait pas lieu, on pourrait mettre les valeurs de fonction F_i sous la forme d'une somme de plusieurs termes, puis calculer la solution pour l'ensemble des termes correspondant à une même valeur de ω et additionner ensuite les résultats.

Deux cas sont à distinguer suivant que $\Delta(\omega i)$ n'est pas nul ou bien est égal à o. Dans le premier cas, le symbole $\Delta(D)^{-1}$ est susceptible d'une détermination principale et généralement ce que l'on désire connaître dans les applications, ce sont les déterminations principales des solutions, dépendant seulement de ω; on les obtient en résolvant les équations symboliques par rapport à $x_1, x_i, \ldots x_n$ d'après la règle classique usitée dans la théorie des équations linéaires et remplaçant dans le résultat D par ωi; on obtient ainsi

$$x_i = \frac{1}{\Delta(\omega i)}\,[\Delta_{1i}(\omega i)\,F_1 + \Delta_{2i}(\omega i)\,F_2 + \ldots],$$

$\Delta_{1i}, \Delta_{2i}, \ldots$ représentant les mineurs de Δ par rapport aux éléments de la $n^{\text{ième}}$ colonne.

Lorsque $\Delta(\omega i) = 0$, ω est une valeur critique de la pulsation des forces imposées F, et il se produit des phénomènes de résonance; les valeurs des déplacements x_i contiennent des termes dépendant du temps en dehors des fonctions périodiques. On peut donc dire que dans ce problème, et dans d'autres analogues concernant la recherche de vitesses critiques, les valeurs de ces dernières sont fournies par la résolution de l'équation $\Delta(D) = 0$.

Un problème identique au précédent est celui des oscillations d'un arbre élastique encastré à ses deux extrémités A_0, A_{n+1} et portant en différents points

(1) Voir par exemple : J.-A. Serret, *Cours d'algèbre supérieure*, 5e édition, t. I, p. 285.

Digitized by Google

A_1. A_2, ... A_n des volants ou des disques soumis à des couples normaux à l'arbre, de moments F_1, F_2, ... F_n. Les différentes portions A_0 A_1, $A_1 A_2$, ... sont supposées élastiques ou constituées par des ressorts, et l'angle de torsion de chacune d'elles est supposé proportionnel au couple qui lui est appliqué. Si $a_{i,\,i+1}$ est le moment du couple qui provoque dans la portion A_i A_{i+1} un angle de torsion égal à l'unité, si m_i désigne le moment d'inertie du disque placé en A_i et si celui des différentes portions de l'arbre est négligeable, les équations du mouvement angulaire du système sont précisément les mêmes que dans le problème précédent, elles ont une solution identique à celle que nous avons obtenue et donnent lieu aux mêmes remarques relatives aux vitesses critiques.

Rien n'empêche de supprimer les points fixes ou les encastrements A_0 et A_{n-1}, il suffit de faire

$$a_0 = a_{n,\,n-1} = 0,$$

ce qui ne modifie pas les considérations précédentes. La question ne présente alors d'intérêt que si la somme $F_1 + F_2 + \dots$ des forces ou des moments des couples imposés est nulle, de telle sorte que l'état naturel du système est l'équilibre ou le mouvement uniforme; la solution que nous avons obtenue fournit alors les écarts oscillatoires entre le mouvement réel et le mouvement uniforme.

5. — **Application à des problèmes d'étude de petits mouvements.** — Les méthodes du calcul symbolique s'appliquent à la résolution d'un grand nombre d'autres problèmes parmi lesquels je citerai ceux qui se rapportent aux petits mouvements d'un système autour d'une position d'équilibre (1). On utilise généralement les équations de Lagrange, et l'on en développe les différents termes suivant les puissances croissantes des variables et de leurs dérivées; on conserve seulement les premiers termes et l'on arrive ainsi à des équations différentielles du second ordre à coefficients constants.

Nous appellerons x_1, x_2, ..., x_n les variables qui servent à définir la position du système, x'_1, x'_2, ..., x'_n leurs dérivées par rapport au temps; lorsque les liaisons sont indépendantes du temps, l'énergie cinétique T est une forme quadratique des dérivées que nous représentons par

$$T = \frac{1}{2}(m_{11}x_1'^2 + m_{22}x_2'^2 + \dots + 2m_{12}x_1'x_2' \dots),$$

elle est essentiellement positive et réductible à une somme de carrés affectés de coefficients tous positifs; ces coefficients, de même que les quantités m, sont supposés constants dans l'étude des petits mouvements.

Si les liaisons sont indépendantes du temps et si les forces ne dépendent pas de la vitesse, les équations du mouvement se ramènent, dans tous ces problèmes, à la forme suivante, où nous adoptons un mode d'écriture analogue à celle du paragraphe précédent :

$$\begin{aligned}
(m_{11}D^2+a_{11})x_1+(m_{12}D^2+a_{12})x_2+\dots+(m_{1n}D^2+a_{1n})x_n&=F_1,\\
(m_{21}D^2+a_{21})x_1+(m_{22}D^2+a_{22})x_2+\dots+(m_{2n}D^2+a_{2n})x_n&=F_2,\\
\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\\
(m_{n1}D^2+a_{n1})x_1+(m_{n2}D^2+a_{n2})x_2+\dots+(m_{nn}D^2+a_{nn})x_n&=F_n,
\end{aligned}$$

les coefficients a étant des constantes comme les quantités m, et les seconds membres étant nuls ou fonctions données du temps, généralement sinusoïdales.

Le cas le plus important est celui où les coefficients a sont tels que $a_{ij} = a_{ji}$, il existe alors une fonction des forces et le système est conservatif d'énergie; c'est ce cas que nous considérerons.

La discussion et l'intégration des équations du mouvement dépendent de la considération du déterminant

$$\Delta(D) = |\, m_{ij}D^2 + a_{ij} \,|;$$

en y remplaçant D^2 par $-S$, nous formons le déterminant

$$\Delta(S) = |\, a_{ij} - m_{ij}S \,|$$

qui est précisément le discriminant de la forme quadratique suivante des variables x_1, x_2, ..., x_n,

$$\Phi - S\,T = \frac{1}{2}\Sigma a_{ij}x_ix_j - S\,\frac{1}{2}\Sigma m_{ij}x_ix_j;$$

il joue un rôle important dans la réduction simultanée des formes Φ et T à une forme canonique.

L'équation $\Delta(S) = 0$ a toutes ses racines réelles parce que la forme T est toujours positive; c'est un fait que nous admettrons comme démontré en algèbre; on peut du reste le retrouver en effectuant d'abord sur les variable x_i une transformation linéaire qui change la forme T en une somme de carrés telle que

$$T_1 = \frac{1}{2}(y_1^2 + y_2^2 + \dots\dots + y_n^2);$$

la forme quadratique Φ se change en une nouvelle forme Φ_1 de ces mêmes lettres y, et $\Delta(S)$ se transforme à un facteur près dans le discriminant de $\Phi_1 - ST_1$; ce discriminant égal à zéro donne précisément l'équation en S relative à la forme Φ_1, et l'on sait qu'elle a toutes ses racines réelles.

Si l'équation $\Delta(S) = 0$ a toutes ses racines positives, l'équation $\Delta(D) = 0$ a toutes ses racines imaginaires, de la forme ωi; les solutions des équations différentielles sont alors des fonctions sinusoïdales du temps, sauf le cas où les forces F entrant dans les seconds membres ont des valeurs sinusoïdales, avec une pulsation critique précisément égale à l'une des valeurs fournies par l'équation $\Delta(D) = 0$.

Pour que l'équation $\Delta(S) = 0$ ait toutes ses racines

(1) De tels problèmes sont traités dans les cours de mécanique; voir par exemple les traités de mécanique de Routh, de M. Appell et le cours de mécanique rationnelle et expérimentale de M. Bouasse, p. 526.

Digitized by Google

positives, il faut et il suffit que la forme Φ se réduise à une somme de n carrés tous positifs; c'est précisément ce qui a lieu lorsqu'on étudie les petits mouvements d'un système autour d'une position d'équilibre stable, la fonction des forces égale à $-\Phi$ étant toujours négative pour les petites valeurs non nulles des variables.

Lorsque le système n'est pas conservatif d'énergie, les coefficients a ne satisfont pas à la condition $a_{ij} = a_{ji}$, mais les calculs précédents subsistent, et l'on peut avoir, dans certains cas, un petit mouvement stable; considérons par exemple le système des équations suivantes mentionné dans l'ouvrage de M. Bouasse :

$$D^2x_1 + a_{11}x_1 + a_{12}x_2 = 0,$$
$$D^2x_2 - a_{12}x_1 + a_{22}x_2 = 0,$$

auquel on peut du reste, dans le cas de deux variables, ramener un système quelconque de la forme étudiée précédemment; on a

$$\Delta(D) = (D^2 + a_{11})(D^2 + a_{22}) + a_{12}^2,$$
$$\Delta(S) = (a_{11} - S)(a_{22} - S) + a_{12}^2;$$

pour que les petits mouvements soient stables, il faut et il suffit que les racines de l'équation $\Delta(S) = 0$ soient réelles et positives, ce qui s'exprime par les conditions

$$a_{11} + a_{22} > 0, \quad \left(\frac{a_{11} - a_{22}}{2}\right)^2 > a_{12}^2 > -a_{11}a_{22}.$$

6. — **Cas de forces giroscopiques.** — Plaçons-nous dans le cas général, où les équations contiennent des termes dépendant des vitesses, elles prennent la forme générale

$$\Sigma_j(m_{ij}D^2 + b_{ij}D + a_{ij})x_j = F_i(t),$$

i et j variant de 1 à n; dans le cas des petits mouvements que nous considérons, les coefficients m, a, b sont des constantes.

Le cas le plus important est celui où il existe une fonction des forces; le système est alors conservatif d'énergie; les coefficients a satisfont alors, comme les nombres m, aux conditions de symétrie exprimées par les égalités

$$a_{ij} = a_{ji},$$

tandis que les coefficients b satisfont aux conditions

$$b_{ii} = 0, \quad b_{ij} = -b_{ji};$$

nous dirons alors avec Thomson et Tait que les forces dépendant de la vitesse sont *gyroscopiques*. Les déterminants $|m_{ij}|$ et $|a_{ij}|$ sont symétriques, tandis que le déterminant $|b_{ij}|$ est symétrique gauche.

Les équations se simplifient en effectuant sur les variables x une transformation linéaire qui ramène simultanément les deux formes quadratiques

$$T = \frac{1}{2}\Sigma m_{ij}x_ix_j, \quad \Phi = \frac{1}{2}\Sigma a_{ij}x_ix_j,$$

à des sommes de carrés, les équations prennent alors la forme simple

$$(m_{11}D^2 + a_{11})x_1 + b_{12}Dx_2 + b_{13}Dx_3 + \ldots = F_1,$$
$$b_{21}Dx_1 + (m_{22}D^2 + a_{22})x_2 + b_{23}Dx_3 + \ldots = F_2,$$

les nouveaux coefficients m sont tous positifs; les coefficients a ont les signes des racines de l'équation en S relative à la forme Φ, et ils sont tous positifs si la position $x_1 = x_2 = \ldots = 0$ est d'équilibre stable; enfin les nouveaux coefficients b sont encore tels que l'on ait

$$b_{ii} = 0, \quad b_{ij} = -b_{ji};$$

cela résulte de la manière dont ils sont formés en partant des équations de Lagrange et des propriétés des systèmes conservatifs d'énergie

Nous supposerons que l'on ait fait la réduction précédente et nous étudierons le déterminant

$$\Delta(D) = \begin{vmatrix} m_{11}D^2 + a_{11} & b_{12}D & \ldots \\ b_{21}D & m_{22}D^2 + a_{22} & \ldots \\ \ldots & \ldots & \ldots \end{vmatrix} (b_{ij} = -b_{ji}).$$

Il ne renferme dans son développement que les puissances paires de D; en effet, si l'on change les lignes en colonnes, il doit conserver la même valeur, mais on arrive au même résultat en changeant D en $-D$; on a donc $\Delta(-D) = \Delta(D)$.

Du reste, si l'on développe le déterminant sous forme d'une somme de produits de déterminants renfermant les uns les termes $mD^2 + a$, les autres les termes b, les derniers sont des déterminants symétriques gauches; ceux qui sont de degré impair sont nuls, et ceux de degré pair sont le produit d'une puissance paire de D par le carré d'une fonction entière des coefficients b.

On a par exemple pour $n = 2$ et $n = 3$ respectivement

$$\Delta(D) = (m_{11}D^2 + a_{11})(m_{22}D^2 + a_{22}) + b_{12}^2D^2,$$
$$\Delta(D) = (m_{11}D^2 + a_{11})(m_{22}D^2 + a_{22})(m_{33}D^2 + a_{33}) + b_{23}^2D^2(m_{11}D^2 + a_{11}) + b_{31}^2D^2(m_{22}D^2 + a_{22}) + b_{12}^2D^2(m_{33}D^2 + a_{33}),$$

Nous allons démontrer le théorème suivant : *si la position d'équilibre $x_1 = x_2 = \ldots = x_n = 0$ est stable, c'est-à-dire si les coefficients a sont tous positifs, l'équation $\Delta(D) = 0$ où D^2 est considéré comme l'inconnue a toutes ses racines réelles et négatives.*

Nous ferons un raisonnement analogue à celui du n° 4 [1]; nous désignerons par Δ_{ij} le déterminant obtenu en supprimant dans Δ la ligne de rang i et la colonne de rang j, et, pour simplifier l'écriture, pour Δ_i celui que l'on obtient en supprimant dans Δ les i premières lignes et les i premières colonnes.

On sait qu'un déterminant quelconque $\Delta = |a_{ij}|$ et

[1] Voir E.J. Routh. *On the stability of a given State of Motion* (1877), p. 74.

Digitized by Google

ses mineurs sont reliés en particulier par l'équation

$$\Delta \frac{\partial^2 \Delta}{\partial a_{11}\partial a_{22}} = \frac{\partial \Delta}{\partial a_{11}}\frac{\partial \Delta}{\partial a_{22}} - \frac{\partial \Delta}{\partial a_{12}}\frac{\partial \Delta}{\partial a_{21}};$$

dans le cas actuel, cette équation s'écrit

$$\Delta \Delta_2 = \Delta_1 \Delta_{22} - \Delta_{12}\Delta_{21};$$

les deux mineurs Δ_{12} et Δ_{21} se déduisent l'un de l'autre par l'interversion des deux indices des coefficients b, ou ce qui revient au même, par le changement de D en $-D$; si donc on pose

$$\Delta_{12} = \varphi(D^2) + D\psi(D^2),$$

on aura

$$\Delta_{21} = \varphi(D^2) - D\psi(D^2),$$

et l'équation précédente prendra la forme

$$\Delta \Delta_2 = \Delta_1 f(D^2) - [\varphi(D^2)^2 - D^2\psi(D^2)^2];$$

elle se généralise du reste aux mineurs diagonaux successifs, et l'on a d'une manière générale une relation de la forme

$$\Delta_i \Delta_{i+2} = \Delta_{i+1} f_i(D^2) - [\varphi_i(D^2)^2 - D^2\psi_i(D^2)^2].$$

Cela posé, considérons la suite des fonctions

$$\Delta, \Delta_1, \Delta_2, \ldots \Delta_{n-1}, \Delta_n = 1,$$

et supposons que l'on donne à la variable D^2 dont elles dépendent des valeurs négatives ; elles jouissent pour ces valeurs des propriétés d'une suite de Sturm, car si une fonction intermédiaire Δ_{i+1} s'annule, celles qui la comprennent, Δ_i et Δ_{i+2}, ont un produit négatif et sont de signes contraires. Or pour $D^2 = -\infty$, la suite ne présente que des variations et pour $D^2 = 0$, elle ne présente que des permanences, elle se réduit en effet à

$$a_{11}a_{22}\ldots a_{nn}, a_{22}\ldots a_{nn}, \ldots\ldots, a_{nn}, 1$$

et tous ces résultats sont positifs puisque les coefficients a sont supposés tous positifs. Il résulte de là que l'équation $\Delta(D^2) = 0$, a toutes ses racines réelles et négatives, ce qu'il fallait démontrer.

On peut ajouter que les racines de l'équation $\Delta(D^2) = 0$ sont séparées par celles de $\Delta_1(D^2) = 0$ et cette propriété s'étend aux équations obtenues en annulant les fonctions successives de la suite.

On conclut de là que, dans le cas considéré, les racines de l'équation $\Delta(D) = 0$ sont toutes de la forme $\pm \omega i$, et que les petits mouvements autour de la position d'équilibre stable s'expriment par des sommes de fonctions périodiques du temps; le seul cas d'exception est celui où les équations différentielles auraient des seconds membres de la forme $\sin(\omega t + \alpha)$, la pulsation ω ayant une valeur critique égale à l'une des valeurs fournies par l'équation $\Delta(D) = 0$.

Les conditions que les coefficients a soient positifs et que les coefficients b satisfassent à la relation $b_{ij} = -b_{ji}$ ne sont pas nécessaires pour l'existence de petits mouvements stables; considérons par exemple, dans le cas de $n = 2$, le déterminant

$$\Delta(D) = \begin{vmatrix} D^2 - a'_{11} & b'_{12}D \\ -b'_{21}D & D^2 - a'_{22} \end{vmatrix}$$
$$= D^4 - (a'_{11} + a'_{22} - b'_{12}b'_{21})D^2 + a'_{11}a'_{22},$$

dans lequel les nombre a' et b' sont supposés positifs; pour que l'équation obtenue en annulant ce déterminant ait deux racines en D^2 réelles et négatives, il faut et il suffit que l'on ait

$$\sqrt{b'_{12}b'_{21}} < \sqrt{a'_{11}} + \sqrt{a'_{22}}.$$

Comme exemple de ce qui précède, nous étudierons le mouvement d'un régulateur simple à force centrifuge en tenant compte des efforts de flexion qui se développent dans les tiges.

Considérons un trièdre $O\,x\,y\,z$ tournant autour d'un axe vertical $O\,z$ avec une vitesse constante ω; en un point C de cet axe $O\,z$ est une articulation d'axe parallèle à $O\,y$, autour de laquelle tourne une tige CA de longueur $CA = CO = l$ et de masse négligeable; cette tige est terminée par une masse m de centre A et de petites dimensions, de telle sorte que le mouvement naturel de cette masse se fait dans le plan $x\,O\,z$. Mais elle peut s'écarter de ce plan par suite d'une flexion de la tige CA; si y est la flèche prise par l'extrémité de cette tige, la masse m est soumise à une force qui tend à la ramener dans le plan $x\,O\,z$ et cette force, proportionnelle à l'écart y, a pour projections sur les axes

$$X = 0,\ Y = -\alpha y,\ Z = 0;$$

la valeur de α résulte de la théorie de la flexion et est égale à $\frac{3EI}{l^3}$, si la tige a une section constante de moment d'inertie I, et si E est le coefficient d'élasticité.

En appliquant la théorie des mouvements relatifs, nous écrirons les équations du mouvement relatif du point A par rapport au trièdre $O\,x\,y\,z$. Nous supposerons que ce point s'écarte peu de l'origine O; la tension longitudinale de la tige CA est sensiblement égale au poids mg, et ses projections sur Ox et Oy sont égales à $-mg\frac{x}{l}$ et $-mg\frac{y}{l}$. A la force de la pesanteur et à cette tension nous devons adjoindre la force centrifuge, de projections $m\omega^2 x$, $m\omega^2 y$, 0 et la force de Coriolis, dont les projections sont

$$2m\omega\frac{dy}{dt},\ -2m\omega\frac{dx}{dt},\ 0.$$

Digitized by Google

Il résulte de là que les équations du mouvement relatif projeté sur les axes Ox et Oy sont

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = -mg\frac{x}{l} + m\omega^2 x + 2m\omega\frac{dy}{dt},$$

$$m\frac{d^2y}{dt^2} = -mg\frac{y}{l} - \alpha y + m\omega^2 y - 2m\omega\frac{dx}{dt};$$

nous avons donc à intégrer un système de deux équations qui s'écrivent, avec la notation symbolique

$$\left(D^2 + \frac{g}{l} - \omega^2\right)x - 2\omega D y = 0,$$

$$+ 2\omega D x + \left(D^2 + \frac{g}{l} + \frac{\alpha}{m} - \omega^2\right)y = 0.$$

Lorsque ω^2 est inférieur à $\frac{g}{l}$ les coefficients a_{11}, a_{22} sont positifs et les racines de l'équation

$$\Delta(D^2) = \left(D^2 + \frac{g}{l} - \omega^2\right)\left(D^2 + \frac{g}{l} + \frac{\alpha}{m} - \omega^2\right) + \omega^2 D^2 = 0$$

sont réelles et négatives, on a un petit mouvement périodique autour de l'origine qui est une position d'équilibre stable; mais un tel mouvement peut encore exister pour d'autres valeurs attribuées à ω, celles qui sont supérieures à $\sqrt{\frac{g}{l} + \frac{\alpha}{m}}$. Si l'on remarque que $\frac{g}{l}$ est généralement négligeable en comparaison de $\frac{\alpha}{m}$, on voit que la stabilité des petits mouvements est de nouveau assurée lorsque ω dépasse la valeur critique $\sqrt{\frac{\alpha}{m}}$, cette valeur étant analogue à celle qui se présente dans d'autres questions relatives aux vitesses critiques des arbres de machines.

Dans l'exemple précédent, les termes gyroscopiques s'introduisent avec la force de Coriolis; on peut faire une remarque analogue dans le cas général; nous nous limiterons au cas de trois variables que nous écrirons pour simplifier x, y, z. Nous poserons

$$b_{12} = -b_{21} = 2p, \quad b_{13} = -b_{31} = 2q, \quad b_{21} = -b_{12} = 2r$$

et nous ferons passer dans les seconds membres les termes renfermant la vitesse; ces termes sont

$$-2\left(q\frac{dz}{dt} - r\frac{dy}{dt}\right), \quad -2\left(r\frac{dx}{dt} - p\frac{dz}{dt}\right), \quad -2\left(p\frac{dy}{dt} - q\frac{dx}{dt}\right),$$

et l'on reconnaît bien là les projections d'un vecteur de Coriolis.

Les exemples précédents montrent les ressources qu'offrent les méthodes du calcul symbolique pour l'étude des équations différentielles simultanées qui se rencontrent dans les problèmes de la mécanique technique.

H. Vogt,
Directeur de l'Institut Electrotechnique et de Mécanique appliquée de Nancy.

Revues, analyses et informations

Le rayonnement lumineux du corps noir et l'équivalent mécanique de la lumière (1).

I. — Introduction. — Le Comité de Nomenclature et de Standardisation de la Illuminating Engineering Society vient de publier un projet très complet de nouvelles définitions et de nouvelles unités à introduire en photométrie. Ces propositions seront certainement discutées par les Commissions compétentes des autres pays dans le but d'arriver à une codification internationale. Il nous a donc paru intéressant, pour la compréhension des nouvelles définitions, de continuer l'analyse de quelques-uns des travaux préparatoires qui ont amené les physiciens à cette conviction que la terminologie photométrique devait être entièrement refondue.

En fait, les renseignements que nous donnons ici, ou du moins les parties théoriques auxquelles ils se réfèrent, ne sont pas entièrement inédits; c'est ainsi que dans « La Revue électrique » du 15 janvier 1910, p. 17, nous avons signalé la formule de Nutting représentant la visibilité, et, plus tard, dans la « Revue générale de l'Electricité » du 9 juin 1917, p. 896 et 8 février 1919, p. 213, nous avons non seulement rappelé la formule de Nutting, mais aussi celle plus développée de Kingsbury en même temps que la courbe expérimentale qui en est la représentation graphique.

Les essais de détermination de l'équivalent mécanique de la lumière ont été également nombreux; la plupart des auteurs se sont basés sur les valeurs alors connues des constantes du rayonnement du corps noir, mais n'ont obtenu que des résultats dont la précision n'atteint même pas 20 pour 100; c'est-à-dire qu'ils ont trouvé que la production de 1 lumen correspondait à une puissance de 0,00121 ou 0,00139 w (*La Revue électrique*, 7 juillet et 15 décembre 1916, p. 25 et 367), alors qu'une détermination directe de Ives, Coblentz et Kingsbury assigne à cet équivalent la valeur 0,00159 w par lumen. On relira avec profit une étude très complète sur ce dernier sujet parue dans « La Revue électrique du 1er septembre 1916, t. XXVI, p. 155. MM. Coblentz et Emerson nous apprennent qu'ils viennent de trouver un nombre voisin de 0.00159 en partant du rayonnement du corps noir.

II. — Visibilité K_λ. — Soit une radiation de longueur d'onde λ; sa visibilité K_λ est, par définition, le quotient du

(1) W.-W. Coblentz et W.-B. Emerson. *Bulletin of the Bureau of Standards*, 17 juin 1918, n° 2, t. XIV, p. 255-265.

Digitized by Google

flux lumineux par le flux énergétique qu'elle émet; c'est, en quelque sorte, le facteur de réduction par lequel il faut multiplier l'énergie rayonnée totale pour avoir la partie de cette énergie qui est utile pour l'éclairage. La visibilité d'une radiation ou son action sur la rétine joue donc un rôle de premier ordre en photométrie; les physiciens américains ont cherché à la déterminer pour l'ensemble des radiations du spectre visible à l'aide des méthodes les plus variées, mais qui, en principe, sont identiques à celle que nous avons indiquée dans la « R. G. E. » du 9 juin 1917, t. 1, p. 895. On obtient ainsi une courbe appelée courbe de visibilité ou courbe de sensibilité rétinienne pour l'œil moyen; nous reproduisons cette courbe en figure 1 et, en figure 2, la

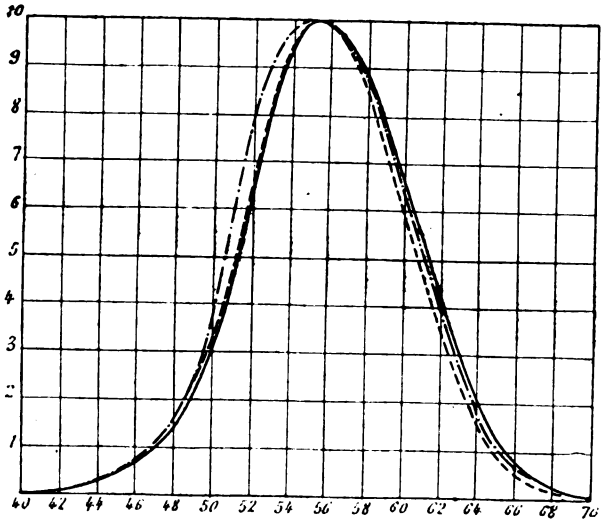


Fig. 1. — Courbes de visibilité : traits et points, courbe expérimentale de Yves; traits, courbe de Nutting; trait continu, courbe spectrale de la lumière transmise par la solution normale.

courbe de répartition de l'énergie dans le spectre de la flamme de l'acétylène, publiée dans la Documentation du 27 janvier 1917, t. 1, p. 30. Nous ferons ultérieurement allusion à ces courbes.

Comme l'énergie rayonnée par le corps noir est régie par des lois bien connues, il y avait intérêt à trouver aussi l'équation de la courbe de visibilité, ce qui permettrait de ramener toutes les études photométriques sur le corps noir à de simples opérations mathématiques. Nous avons publié dans l'analyse citée plus haut les formules proposées par Nutting et Kingsbury qui déjà pouvaient être considérées comme très satisfaisantes.

Nous rappelons celle de Nutting qui est

$$K_\lambda = V_m R^n e^{n(1-R)}; \qquad (1)$$

pour la signification des lettres se reporter à la « Revue Générale de l'Electricité » du 7 février 1919, p. 213; mais la dernière en date, élaborée au Bureau of Standards, conduit paraît-il à des résultats en parfait accord avec les données expérimentales. Cette formule est la suivante

$$K_\lambda = 0{,}999\,(R_1 e^{(1-R_1)})^{200} + 0{,}035\,(R_2 e^{(1-R_2)})^{400} + \\ + 0{,}130\,(R_3 e^{(1-R_3)})^{1000} + 0{,}84\,(R_4 e^{(1-R_4)})^{2000}. \qquad (2)$$

Les valeurs des coefficients sont

$$R_1 = \frac{0{,}556}{\lambda}, \quad R_2 = \frac{0{,}455}{\lambda}, \quad R_3 = \frac{0{,}610}{\lambda} \quad \text{et} \quad R_4 = \frac{0{,}525}{\lambda};$$

la longueur d'onde λ est exprimée en microns.

III. — Flux lumineux émis par le corps noir. — La luminosité d'une radiation λ est le produit de sa visibilité par l'énergie rayonnée par seconde, $L_\lambda = K_\lambda \Phi_\lambda$; si l'on effectue ce produit pour l'ensemble des radiations du spec-

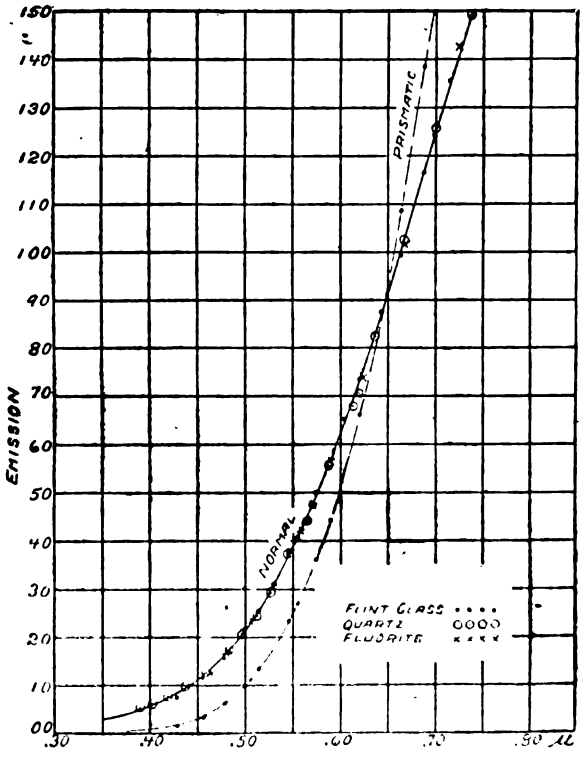


Fig. 2. — Courbe de répartition de l'énergie dans le spectre visible d'une flamme d'acétylène.

tre du corps noir, on obtient une courbe appelée courbe spectrale du flux lumineux. Dans cette formule, on remplace K_λ par sa valeur (1) et Φ_λ par sa valeur tirée de la formule de Planck

$$\Phi_\lambda = C\lambda^{-5}\left[e^{\frac{\lambda T}{}} - 1\right]^{-1}.$$

Pour opérer graphiquement, il faudrait tracer d'abord, à l'échelle convenable, la courbe de répartition de l'énergie dans le spectre du corps noir, par exemple en se servant de l'équation ci-dessus; puis multiplier ses ordonnées par les ordonnées correspondantes de la courbe de la figure 1, les abscisses étant toujours les longueurs d'onde exprimées en microns.

Tout ceci s'applique évidemment à un corps lumineux quelconque; pour l'acétylène, par exemple, on ferait le produit des ordonnées des courbes des figures 1 et 2; il est évident que la courbe du flux lumineux varie avec Φ_λ, par conséquent avec la nature de la source.

Intégrons la luminosité de 0 à ∞, nous aurons les watts

Digitized by Google

correspondant au flux lumineux émis par centimètre carré du corps noir, ou, pour calquer l'expression américaine, nous aurons les watts lumineux. Le flux lumineux R émis par une source a reçu plusieurs appellations : pouvoir lumineux, rayonnement surfacique, éclat; on semble aujourd'hui adopter le mot brillance pour désigner ce flux qui s'exprime, photométriquement, en lamberts; le lambert représente un flux de un lumen par centimètre carré. Comme, le plus souvent, la brillance est donnée en bougies par centimètre carré, nous rappellerons que, pour les corps satisfaisant à la loi du cosinus, on a $R = \pi e$.

Par conséquent, au lieu de $\int_0^\infty K_\lambda \Phi_\lambda d\lambda$, nous considérerons l'expression

$$L = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty K_\lambda \Phi_\lambda d\lambda. \qquad (3)$$

Voici la méthode indiquée par les auteurs pour le calcul de cette intégrale. On développe suivant la formule du binôme la parenthèse de la formule de Planck

$$\Phi_\lambda = C\lambda^{-\alpha} \left[e^{-\frac{c}{\lambda T}} + e^{-\frac{2c}{\lambda T}} + \ldots\ldots + e^{-\frac{mc}{\lambda T}} \right]. \qquad (3a)$$

Nous ne conserverons que le premier terme du développement, puisque nous n'évaluons que l'énergie du spectre visible; cela revient à dire que la formule de Planck est réduite à celle de Wien.

Ecrivons l'équation (1) de la manière suivante, en supposant que $V_m = 1$,

$$K_\lambda = \left(\frac{\lambda_m}{\lambda}\right)^n \times \frac{e^n}{e^{\frac{n\lambda_m}{\lambda}}}.$$

L'équation (3) devient alors

$$L = \frac{Ce^n \lambda^n{}_m}{\pi} \int_0^\infty \left[\lambda^{-n-\alpha} e^{-\left(n\lambda_m + \frac{c}{T}\right)\frac{1}{\lambda}} \right] d\lambda. \qquad (3b)$$

En remplaçant λ par $\frac{1}{\lambda'}$, on a

$$L = \frac{Ce^n \lambda^n{}_m}{\pi} \int_0^\infty \left[\lambda'^{(n+\alpha-2)} e^{-\left(n\lambda_m + \frac{c}{T}\right)\lambda'} \right] d\lambda'. \qquad (3c)$$

Cette intégrale a la forme d'une fonction gamma

$$\int_0^\infty x^p e^{-Kx} dx = \frac{\Gamma(p+1)}{H^{p+1}} = \frac{\Gamma(n+\alpha-1)}{H^{p+1}},$$

avec

$$p = n + \alpha - 2$$

et

$$H^{p+1} = \left(n\lambda_m + \frac{c}{T}\right)^{n+\alpha-1} = (n\lambda_m)^{n+\alpha-1} \left(1 + \frac{c}{n\lambda_m T}\right)^{n+\alpha-1}.$$

En substituant dans (3c), on a

$$L = \frac{Ce^n \lambda^n{}_m \Gamma(n+\alpha-1)}{\pi (n\lambda_m)^{n+\alpha-1} \left(1 + \frac{c}{n\lambda_m T}\right)^{n+\alpha-1}}. \qquad (3d)$$

D'après une formule de Stirling (édition anglaise du traité de Planck sur le rayonnement calorifique), pour les valeurs élevées de n, on peut écrire

$$\Gamma(n+\alpha-1) = (n+\alpha-2)! = \frac{\sqrt{2\pi}}{e^{n+\alpha-2}} (n+\alpha-2)^{n+\alpha-\frac{3}{2}}.$$

La valeur de C qui apparaît dans l'équation (3d) se déduit de la formule

$$C = \frac{\sigma T^4}{\int_0^\infty \lambda^{-5} \left(e^{\frac{c}{\lambda T}} - 1\right)^{-1}} = \frac{\sigma c^4}{6{,}494},$$

dans laquelle on a remplacé α par 5. On la déduit de (3a) par intégration de chaque terme séparément, après quoi on fait la somme des résultats partiels depuis $m = 1$ jusqu'à $m = \infty$.

L'équation (3d) devient

$$L = \frac{\sigma}{\pi} \frac{\sqrt{2\pi}}{e^3 \times 6{,}494} \left(\frac{c}{\lambda_m}\right)^4 \frac{1}{\sqrt{n}} \left(\frac{n+3}{n}\right)^{n+\frac{7}{2}} \times \frac{1}{\left(1 + \frac{c}{n\lambda_m T}\right)^{n+4}};$$

ou, en posant

$$A = \frac{\sqrt{2\pi}}{e^3 \times 6{,}494} \left(\frac{c}{\lambda_m}\right)^4 \times \frac{1}{\sqrt{n}} \left(\frac{n+3}{n}\right)^{n+\frac{7}{2}}$$

$$= 0{,}01922 \left(\frac{c}{\lambda_m}\right)^4 \frac{1}{\sqrt{n}} \left(\frac{n+3}{n}\right)^{n+\frac{7}{2}},$$

$$B = \frac{c}{n\lambda_m},$$

$$L = \frac{\sigma}{\pi} \frac{A}{\left(1 + \frac{B}{T}\right)^{n+4}}. \qquad (4)$$

Pour passer à l'équation (2) à 4 termes, il suffit de remarquer que chacun d'eux se ramène à une expression de la forme

$$\frac{A}{1 + \frac{B}{T}},$$

et qu'il faudra prendre : pour le premier, $n = 200$ et $\lambda_m = 0{,}556\,\mu$; pour le deuxième, $n = 400$ et $\lambda_m = 0{,}445\,\mu$; pour le troisième, $n = 1000$ et $\lambda_m = 0{,}610\,\mu$ et enfin pour le quatrième, $n = 2000$ et $\lambda_m = 0{,}525\,\mu$; les valeurs les plus récentes de c et σ sont : $c = 14350\,\mu$: deg, $\sigma = 5{,}7 \times 10^{-12}$ watt : cm^2 : deg^4. On a donc, tous calculs faits, pour les watts correspondant à une intensité de e b : cm^2 du corps noir à la température T :

$$L = \frac{5{,}7 \times 10^4}{\pi} \left[\frac{1{,}247}{\left(1 + \frac{129{,}05}{T}\right)^{204}} + \frac{0{,}0678}{\left(1 + \frac{T}{78{,}85}\right)^{404}} + \right.$$

$$\left. + \frac{0{,}0489}{\left(1 + \frac{23{,}52}{T}\right)^{1004}} + \frac{0{,}0406}{\left(1 + \frac{13{,}67}{T}\right)^{2004}} \right]. \qquad (5)$$

Nous reproduisons dans le tableau ci-dessous les valeurs de L déduites de la formule (5) pour différentes températures du corps noir comprises entre 1 200 et 10 000 degrés absolus. Colonnes 1 et 2.

Si nous connaissions la constante V_m qui représente le nombre de bougies (ou de lumens) correspondant à 1 w pour la longueur d'onde de visibilité maximum, ces L watts pourraient être transformées en bougies; l'inverse $\frac{1}{K_m}$ est donc

Digitized by Google

l'équivalent mécanique minimum de la lumière; c'est le nombre de watts ou plutôt, comme on le verra plus loin, c'est la fraction du watt qu'il faut dépenser pour réaliser un flux lumineux de 1 lumen.

TABLEAU I. — *Données relatives à la brillance du corps noir et à l'équivalent mécanique de la lumière.*

TEMPÉRATURES en deg. absol. T_0	L en w : cm²	ÉMISSION TOTALE $\sigma_0 T^4$ en w : cm²	RENDEMENT LUMINEUX	BRILLANCE e en b : cm² (Hyde)	$m = \frac{L}{e}$	LONGUEUR D'ONDE DE CROVA en microns
1	2	3	4	5	6	7
1 200	$2{,}34\times10^{-5}$	3,762	0,00000622			0,605
1 600	$3{,}45\times10^{-3}$	1,189	0,000290			0,591
1 700	$8{,}46\times10^{-3}$	$1{,}515\times10$	0,000558	5,2 (5,08)	0,001627	0,589
1 800	$1{,}88\times10^{-2}$	$1{,}905\times10$	0,000987	11,3	0,001664	0,586
1 900	$3{,}85\times10^{-2}$	$2{,}365\times10$	0,00163	23,3 (23,1)	0,001652	0,584
2 000	$7{,}34\times10^{-2}$	$2{,}903\times10$	0,00253	45,0 (44,3)	0,001631	0,582
2 100	$1{,}32\times10^{-1}$	$3{,}529\times10$	0,00374	81,0 (80,1)	0,001630	0,580
2 200	$2{,}26\times10^{-1}$	$4{,}250\times10$	0,00532	138,0 (137,0)	0,001638	0,579
2 300	$3{,}69\times10^{-1}$	$5{,}077\times10$	0,00727	227,0 (226,0)	0,001626	0,577
2 400	$5{,}79\times10^{-1}$	$6{,}020\times10$	0,00962	359,0 (351)	0,001613	0,576
2 500	$8{,}77\times10^{-1}$	$7{,}087\times10$	0,0124	550,0 (537)	0,001595	0,575
2 600	1,29	$8{,}291\times10$	0,0156	810,0 (785)	0,001593	0,574
3 000	4,66	$1{,}470\times10^{2}$	0,0317			0,570
4 000	$3{,}85\times10$	$4{,}665\times10^{2}$	0,0829		Moyenne	0,563
5 000	$1{,}36\times10^{2}$	$1{,}134\times10^{3}$	0,1201		0,001627	0,559
6 000	$3{,}26\times10^{2}$	$2{,}351\times10^{3}$	0,1386			
7 000	$6{,}03\times10^{2}$	$4{,}356\times10^{3}$	0,1385			
8 000	$9{,}59\times10^{2}$	$7{,}432\times10^{3}$	0,1290			
10 000	$1{,}84\times10^{3}$	$1{,}814\times10^{4}$	0,1014			

IV. RENDEMENT LUMINEUX DU CORPS NOIR. — D'une manière générale on définit le rendement en radiations lumineuses d'un corps incandescent par le rapport entre les watts utiles à l'éclairage et les watts totaux émis; il est donc représenté par la fraction

$$R_l = \frac{\int_0^\infty K_\lambda \Phi_\lambda \, d\lambda}{\int \Phi_\lambda d\lambda} = \frac{\pi L}{\sigma T^4},$$

puisque $\int \Phi_\lambda \, d\lambda = \sigma T^4 =$ rayonnement total. Or si on représente par σ_0 l'intensité spécifique du rayonnement compté suivant la normale, on sait que le flux σ est aussi égal à $\pi\sigma_0$. L'expression du rendement lumineux devient alors

$$R_l = \frac{L}{\sigma_0 T^4}. \qquad (6)$$

Cette formule a une grande importance pour la production de la lumière dans les meilleures conditions de rendement. Pour le corps noir, le tableau 1 donne les valeurs $\sigma_0 T^4$ de l'intensité totale du rayonnement pour un certain nombre de températures comprises entre 1 200° et 10 000° K. On a pris pour σ la valeur la plus récente, à savoir $\sigma = 5{,}7 \times 10^{-12}$ watt : cm² : deg⁴; d'où $\sigma_0 = \frac{\sigma}{\pi} = 1{,}81 \times 10^{-12}$. En divisant les nombres de la colonne 2 par ceux de la colonne 3, on constate, d'après la colonne 4, que les rendements vont en croissant et qu'ils passent par un maximum pour une température comprise entre 6 000° et 7 000° K; la valeur numérique de ce rendement maximum serait environ 14 pour 100. Les nombres entre parenthèses de la colonne 5 sont les déterminations les plus récentes de la brillance du corps noir publiées dans « Physical Review » de janvier 1919, p. 45.

V. DÉTERMINATION DE L'ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA LUMIÈRE D'APRÈS LE RAYONNEMENT DU CORPS NOIR. — Nous lisons, dans les nouvelles propositions du Comité de Nomenclature et d'Etalonnage de la Illuminating Engineering Society, que l'équivalent mécanique m de la lumière est le rapport du flux radiant au flux lumineux correspondant pour la longueur d'onde du maximum de visibilité; on l'exprime en ergs par seconde, par lumen, ou en watts par lumen. C'est l'inverse de la visibilité maximum, $m = \frac{1}{K_m} = \frac{1}{V_m}$. La définition précédente n'envisage donc que l'équivalent mécanique minimum de la lumière. Il est évident, en effet, que les choses ne se passent pas ici comme en chaleur et que la puissance effective équivalente à un lumen n'est pas une quantité fixe, mais qu'elle varie avec la longueur d'onde de la radiation considérée; elle dépend jusqu'à un certain point aussi de l'intensité, c'est-à-dire de la température, comme le montrent les nombres de la colonne 6 du tableau 1.

Pour déterminer m, il faudrait donc connaître la valeur numérique en watts de l'intégrale

$$\int_0^\infty K_\lambda \Phi_\lambda \, d\lambda,$$

puis diviser ce nombre de watts par l'intégrale

$$V_m \int_0^\infty K_\lambda \Phi_\lambda \, d\lambda,$$

qui représente le flux lumineux correspondant en lumens. Le calcul de la première expression vient d'être développé pour le corps noir; la valeur photométrique de la seconde nous a été fournie par Hyde et ses collaborateurs qui ont mesuré la brillance e de ce corps à différentes températures; à une brillance de e b : cm² correspond un flux de πe lamberts ou lumens : cm²; donc le nombre de watts qui correspondent à 1 lumen est :

$$\frac{\int_0^\infty K_\lambda \Phi_\lambda \, d\lambda}{\pi e} = \frac{\frac{1}{\pi}\int_0^\infty K_\lambda \Phi_\lambda d\lambda}{e} = \frac{L}{e}. \qquad (7)$$

Digitized by Google

Ces quotients sont donnés dans la colonne 6 du tableau 1 ; leur moyenne est de 0,001627 watt par lumen ; ou, autrement dit, un watt peut produire 614,6 lumens ou $\frac{614,6}{4\pi} = 48,9$ bougies.

Dans tout cet intervalle de température, c'est celui qui s'étend de 1 700° à 2 300° K qui doit donner les résultats les plus précis, parce qu'il n'y a pas de différence appréciable entre la couleur de la lampe de comparaison et celle du corps noir; l'échelle des températures y est aussi plus exacte. En n'utilisant que les mesures faites entre ces limites, on trouve que l'équivalent mécanique minimum est environ 0,7 pour 100 plus élevé : 1 lumen vaut 0,001638 watt et 1 watt vaut 611 lumens ou 48,6 bougies.

Les nombres calculés pour l'équivalent mécanique minimum de la lumière en partant des constantes du corps noir sont très voisins de ceux obtenus par voie expérimentale. D'après les retouches apportées à la courbe de visibilité, il faut augmenter de 1 pour 100 le nombre 0,00159 proposé par Ives, Coblentz et Kingsbury, ce qui conduit à une valeur de m égale à 0,001606; ces mêmes auteurs, en opérant avec la raie verte du mercure $\lambda = 0,546\,\mu$, ont obtenu $m = 0,001629$; mais, comme la courbe de visibilité revisée attribue à cette raie une visibilité 1,5 fois plus élevée, il faut retrancher 0,000024 au nombre ci-dessus; ce qui donne encore $m = 0,001606$, en sorte que 1 watt est capable de produire 622 lumens ou 49,6 bougies.

La concordance si étroite de cette dernière valeur avec celle que ces mêmes auteurs ont trouvée en utilisant une cuve absorbante et un photomètre physique n'est pas surprenante, puisque, dans les deux cas, leurs radiomètres ont été étalonnés en prenant, pour la constante c de la formule de Wien, le nombre 14 350 ; les différences ne pourraient provenir que d'erreurs expérimentales ; celles-ci sont petites, car les nombres donnés sont les moyennes individuelles de 61 observateurs.

La connaissance de l'équivalent mécanique de quelques radiations a une importance pratique pour l'étalonnage en valeur absolue des radiomètres utilisés dans certaines recherches pbysiologiques et biologiques qui comportent des mesures photométriques sur la lumière excitatrice.

Pour ces travaux, on se servira de la raie verte du mercure, $\lambda = 0,546\,\mu$ et on admettra pour son équivalent mécanique 0,02 w par bougie.

Dans son rapport pour 1918, le Committee on Nomenclatures and Standards of the Illuminating Engineering Society, faisant état des résultats acquis à ce jour, propose d'admettre le nombre 0,0015 w par lumen comme représentant avec une approximation suffisante l'équivalent mécanique de la lumière. C'est d'ailleurs le nombre auquel sont arrivés Hyde, Forsythe et Cady avec les valeurs récentes de la brillance qui sont indiquées entre parenthèses dans la colonne 5 du tableau 1.

On définit généralement comme « lumière blanche » la lumière émise par le corps noir à la température de 6 000° absolus, parce que c'est à cette température, comme l'indique le tableau ci-dessus, que le rendement en radiations lumineuses est maximum. Or pour une source dont toute l'énergie rayonnée serait convertie en lumière, c'est-à-dire dont le rendement serait de 100 pour 100, à chaque watt correspondraient 49,6 bougies ; donc à la lumière blanche ne correspondent que $49,6 \times 0,14 = 6,94$ bougies par watt.

VII. Rendement lumineux d'une lampe au tungstène et équivalent mécanique de la lumière. — La lampe, qui est un des étalons du laboratoire, fonctionnait au régime de 1,23 w par bougie ; son intensité lumineuse était de 26,5 bougies et, par suite, l'éclairement qu'elle donnait sur une surface placée à 1 m était de $26,5 \times 10^{-4}$ lumen : cm^2; l'énergie rayonnée totale était de $293,5 \times 10^{-6}$ w : cm^2 à une distance de 1 m. On a déterminé son rendement lumineux avec le dispositif radiomètre-cuve absorbante, en amenant le chemin parcouru à travers les 2 cuves accolées à ce qu'il serait dans l'air; on a tenu compte également du coefficient de transmission de la solution, de l'inégalité des aires limitées par la courbe de visibilité de la solution, d'une part, et par la courbe de visibilité obtenue par l'observation directe, d'autre part, du rayonnement parasite du milieu ambiant, etc. Le rendement lumineux a été trouvé égal à 1,42 pour 100. La valeur en watts de

$$\int_0^\infty K_\lambda \Phi_\lambda d\lambda \text{ est donc } \frac{1,42}{100} \times 293 \times 10^{-6}$$

et la valeur photométrique de cette même intégrale est $26,5 \times 10^{-4}$ lumen : cm^2; donc, à 1 lumen, correspond

$$\frac{1,42 \times 293 \times 10^{-6}}{100 \times 26,5 \times 10^{-4}} = 0,00157 \text{ watt.}$$

Cette valeur diffère d'environ 3 pour 100 de celle trouvée par le corps noir.

VII. — Longueur d'onde de Crova. — C'est une longueur d'onde du spectre visible telle que, pour deux sources éclairantes, le rapport de ses intensités dans les deux spectres est égal au rapport des intensités totales des deux sources. Pour le corps noir c'est la longueur d'onde dont l'intensité lumineuse varie de la même quantité que l'intensité totale pour une même variation de température. Le but pratique cherché par M. Crova était l'élimination de la photométrie hétérochrome puisqu'il substituait deux lumières de même couleur et de même intensité aux deux sources primitives. La longueur d'onde de Crova se déduit de la formule modifiée de Kingsbury, à savoir

$$\lambda_c = \frac{L}{\frac{\sigma}{\pi}} \left[\frac{2,2877}{\left(\frac{129,05}{T} + 1\right)^{205}} + \frac{0,1505}{\left(\frac{78,85}{T} + 1\right)^{405}} + \frac{0,0805}{\left(\frac{23,52}{T} + 1\right)^{905}} + \frac{0,0775}{\left(\frac{13,67}{T} + 1\right)^{2005}} \right]^{-1}.$$

Ses valeurs à différentes températures sont données dans la dernière colonne du tableau I.

B. C.

Sur la production d'un courant continu par application d'une force électromotrice alternative à un voltamètre à électrodes de platine.

M. P. Vaillant a récemment communiqué à l'Académie des Sciences (1) la note ci-dessous :

On sait qu'un galvanomètre Desprez-d'Arsonval pour courant continu donne d'ordinaire une déviation en courant alternatif du fait de la réaction du circuit mobile sur le

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 31 mars 1919, t. CLXVIII, p. 687-689.

Digitized by Google

noyau et de l'aimantation transversale que prend celui-ci. Cette déviation peut être réduite par la mise en série avec le cadre mobile d'un cadre fixe parcouru par le courant en sens inverse; avec les galvanomètres de types courants, dont la sensibilité est de l'ordre de 10—7 ampère, elle est d'ailleurs négligeable tant que le courant alternatif ne dépasse pas 1 milliampère. En s'arrangeant, par l'emploi de shunts et de résistances additionnelles, pour rester en deçà de cette limite, il devient possible d'utiliser l'instrument à l'étude des divers phénomènes de redressement du courant, le galvanomètre permettant de reconnaître une très petite différence d'intensité dans les deux sens.

En particulier, on peut se servir du procédé pour étudier, dans des conditions de grande sensibilité, le phénomène classique de redressement produit par l'interposition, dans un circuit à courant alternatif, d'une cuve électrolytique. Une cuve à électrodes de même nature, mais d'inégales dimensions, fonctionne toujours plus ou moins comme redresseur, même pour des courants très faibles. La polarisation moyenne des deux électrodes est loin d'être nulle et, en général, n'est pas la même pour toutes deux. Le fait peut d'ailleurs être prévu, si l'on admet que la capacité de polarisation d'une électrode dépend du sens de cette polarisation.

Le montage est en principe le suivant. Sur un secteur à courant alternatif (120 v) est branché un circuit qui comprend la cuve électrolytique, un rhéostat R et un galvanomètre A de sensibilité convenablement réduite. La cuve porte trois électrodes : une G de grande surface, une seconde P du type Wollaston et une électrode indifférente N. En dérivation sur cette cuve est un second galvanomètre V dont une borne est reliée à N et dont l'autre, par l'intermédiaire d'une grande résistance R' (1 mégohm), peut être reliée à volonté à l'une ou à l'autre des électrodes actives. A fonctionne comme ampèremètre pour le courant continu et N comme voltmètre pour la mesure des polarisations (1). Avant chaque mesure on s'assure, soit par la mise en court circuit de la cuve, soit par la substitution à cette cuve d'une résistance métallique du même ordre de grandeur, que A et V ne subissent, du fait du courant alternatif, aucune déviation.

Enfin un électromètre monté en homostatique permet de déterminer l'ordre de grandeur de la résistance de la cuve par comparaison avec une résistance étalon branchée sur le même circuit.

On indiquera, dans cette Note, les résultats obtenus sur des électrodes de platine plongées dans de l'eau acidulée par SO^4H^2 (surface de G, 370 mm²; surface de P, 1 mm² environ).

Ces résultats sont rassemblés dans le tableau suivant : I représente l'intensité efficace en milliampères du courant alternatif dans la cuve, I' l'intensité efficace dans le galvanomètre A, E l'ordre de grandeur en volts de la différence de potentiel alternative entre les électrodes (résistance de la cuve comprise entre 90 et 100 ohms), e_1 et e_2 les polarisations en millivolts de P et de G par rapport à N, i_1 l'intensité en microampères que donnerait la force électromotrice $(e_1 - e_2)$ dans le circuit fermé (cuve — R — A), i l'intensité continue qui se superpose effectivement dans le circuit au courant alternatif I, comptée, positivement dans le sens de i_1.

I.	I'.	E.	e_1.	e_2.	i_1.	i.	
12	0,10	1,2	— 13,7	— 13,0	1,40	1,53	
20	0,12	2	— 5,5	— 13,0	2,84	3,98	
40	0,17	4	+ 19,3	— 9,2	19,0	22,8	
60	0,26	6	+ 30,4	+ 1,3	29,0	29,6	
130	0,11	12	+232	+179	106	102	dégagement gazeux sur la petite électrode

La polarisation, d'abord négative et sensiblement égale (1) pour les deux électrodes, diminue quand la force électromotrice alternative appliquée augmente, devient positive et va en croissant de plus en plus. Mais elle varie plus vite pour la petite électrode que pour la grande, en sorte que la première devient positive par rapport à la seconde, la différence $e_1 - e_2$ devenant de plus en plus grande. Quant au courant i, bien que différent de i_1, il en reste assez voisin pour qu'on puisse attribuer les écarts au fait que la résistance R du circuit est mal connue, de sorte qu'il n'est guère possible d'affirmer qu'en dehors de la polarisation, il intervient d'autres causes de redressement.

Théorie de la structure atomique basée sur des considérations physico-chimiques (2).

Toutes les théories proposées jusqu'ici relativement à la structure de l'atome sont basées sur des données purement physiques ; il semble pourtant possible d'apporter quelque lumière sur le sujet en considérant son côté chimique : par conséquent, d'après l'auteur, toute hypothèse nouvelle sur la constitution de l'atome devra comprendre les sept points suivants : 1° Les transformations à rayons α et à rayons β se font suivant des processus indépendants ; 2° les électrons qui participent aux changements de valence pendant les réactions chimiques ordinaires prennent naissance dans une région de l'atome différente de celle qu'occupent les électrons émis pendant une transformation à rayons β ; 3° ces électrons intéressés aux valences sont facilement expulsés par les réactions chimiques, tandis que les autres sont expulsés spontanément, sans intervention extérieure; 4° le nombre atomique d'un atome peut être altéré soit par une transformation à rayons α, soit par une transformation à rayons β ; 5° dans une transformation à rayons α, il y a toujours émission d'un atome d'hélium portant deux charges positives ; 6° tout changement dans la valence d'un élément produit par une réaction chimique fait perdre à cet élément ses propriétés chimiques de la même manière qu'une expulsion de rayons β ; il n'y a de différence que dans l'intensité plus ou moins grande des effets produits; 7° certains atomes, bien qu'ayant des poids atomiques différents, ont cependant les mêmes propriétés chimiques, tandis que des atomes à poids atomiques identiques ne possèdent pas les mêmes caractéristiques chimiques. Suit la description d'un modèle d'atome satisfaisant à ces sept points.

(1) En réalité, la fermeture du circuit dérivé N V R' (P, G) fait que N cesse d'être indifférente et se polarise à son tour. Etant donnée la grande résistance de la dérivation, on peut toutefois admettre que cette polarisation reste négligeable.

(1) Bien qu'égales, les deux polarisations ne s'établissent dans leurs valeurs définitives qu'après des temps notablement différents. L'établissement est quasi instantané pour la petite électrode, tandis qu'il nécessite plusieurs minutes pour la grande. Dans chaque mesure, on a attendu que les spots restent stationnaires.

(2) A.-W. STEWART, *Philosophical Magazine*, octobre 1918, 6e série, t. XXXVI, p. 306-336, 1 fig.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

La commutation automatique dans la téléphonie à longue distance

Dans cet article, l'auteur examine les moyens employés pour améliorer les communications interurbaines en faisant travailler les lignes avec le maximum de rendement grâce à l'emploi d'appareils automatiques.

Généralités. — Le succès obtenu en téléphonie dans presque tous les pays du monde par la commutation automatique appliquée aux relations entre les abonnés d'un même réseau téléphonique devait, tout naturellement, conduire les techniciens à examiner si l'adaptation de quelques-uns des procédés utilisés dans ce système de commutation pouvait être envisagée également pour les communications à longue distance.

Jusqu'à présent très peu de chose a été fait en Europe dans cette ordre d'idées. La question semble avoir été posée et suivie d'applications presque uniquement en Amérique.

Bien entendu, dans l'état actuel du développement de la téléphonie à longue distance, il s'agit moins de donner aux abonnés la possibilité d'appeler eux-mêmes leurs correspondants — ce qui, du reste, pourrait être réalisé dans l'avenir, pour les communications entre réseaux pourvus de commutateurs automatiques pour les communications locales — que de supprimer certaines manœuvres effectuées manuellement par les opératrices interurbaines et les exécuter par des mécanismes automatiques commandés par ces opératrices.

L'étude des conditions théoriques dans lesquelles se font les échanges des communications entre plusieurs centraux reliés par lignes interurbaines, montre, en effet, que l'amélioration du service téléphonique à longue distance est intimement liée aux perfectionnements susceptibles de réduire au minimum de durée les manœuvres nécessaires pour établir et rompre les communications.

Examinons succinctement les différentes considérations qui président à l'établissement d'un réseau de communications à longue distance.

L'objet d'un réseau téléphonique à longue distance, ainsi du reste que celui d'un réseau local, est de transmettre la parole. Une Administration des Téléphones vend par conséquent du trafic au même titre que n'importe quelle compagnie de transports.

Pour la téléphonie locale, un système d'appareillage perfectionné permettant l'échange d'une grande quantité de trafic, et un nombre de lignes d'intercommunications calculé de manière à ce que la probabilité de manquer une communication faute de lignes soit excessivement faible, sont les deux conditions que l'on doit réaliser pour obtenir un service satisfaisant. Ces conditions sont parfaitement réalisables et, à l'heure actuelle, beaucoup de réseaux sont pourvus de moyens permettant un service téléphonique irréprochable.

Par contre, dans la téléphonie interurbaine, la quantité de trafic à écouler, et, par conséquent, le nombre de lignes d'intercommunication sont faibles, mais la dépense d'établissement d'une ligne est élevée. On ne peut songer à donner aux abonnés des communications tout aussi rapides que celles qui s'échangent à l'intérieur des villes, car il faudrait prévoir un nombre de lignes tel que le prix d'une communication deviendrait prohibitif et on est obligé d'exploiter ces lignes avec un facteur de charge très élevé pour augmenter le plus possible leur rendement.

Comme d'une part, l'établissement des lignes absorbe la plus grande partie des dépenses engagées et que, d'autre part, le revenu que produisent les lignes dépend de la durée des conversations échangées au moyen d'elles, il en résulte que plus longtemps les lignes seront occupées par des conversations, plus leur revenu sera grand. Autrement dit, il est nécessaire d'utiliser des méthodes qui exigent très peu de temps pour établir et rompre les communications, car le temps que prennent ces manœuvres ne produit aucun revenu.

Le facteur *rendement du circuit* est, par conséquent, celui qui domine toute autre considération dans l'exploitation des lignes à longue distance, mais ce rendement se confond pratiquement, lorsque le circuit est en parfait état d'utilisation, avec le rendement de la commutation.

Le travail de commutation, dans la méthode manuelle universellement répandue, est dévolu uniquement à l'opérateur. Il dépend des deux opérateurs extrêmes, lorsque la communication s'établit par ligne directe, ou bien de ces opérateurs et des opérateurs intermédiaires dans le cas où les communications s'établissent par plusieurs circuits réunis entre eux. De plus, l'étude de cette méthode opératoire montre que les opérateurs intermédiaires déterminent dans le rendement total la part la plus importante. Cela résulte, non seulement du temps nécessaire pour attirer l'attention de ces opéra-

Digitized by Google

teurs pour obtenir la connexion ou la déconnexion, mais surtout des chances de déconnexion prématurée et du maintien des circuits en connexion un temps plus long que celui qui est nécessaire.

Pour mettre en évidence ce fait, examinons les courbes de la figure 2, établies en Amérique d'après un grand nombre d'observations, qui donnent le nombre des communications qni peuvent être transmises journellement sur un groupe de cinq circuits, pour chacune des classes suivantes (voir fig. 1).

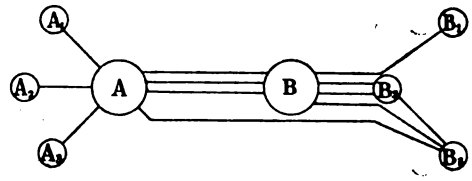


Fig. 1.

Classe *a* : cemmunications entre deux centre A et A_1 (fig. 1) reliés par ligne directe ;

Classe *b* : communications entre deux centres, tels que A_1 et B séparés par un centre intermédiaire ;

Classe *c* : communications entre deux centres, tels que A_1 et B_1 séparés par deux centres intermédiaires.

En comparant (fig. 2) les courbes 2 et 6 qui se rapportent, la première à la classe *a* et la deuxième à la classe *c*, et qui donnent respectivement, pour le groupe de cinq circuits, 218 et 150 communications, on voit que l'intervention des opérateurs intermédiaires diminue de 31 pour 100 l'efficacité des circuits. La diminution de la capacité de trafic du groupe de circuits utilisé pour la classe *c* est due au temps pris pour les différentes manœuvres par les divers opérateurs qui concourent à établir les connexions.

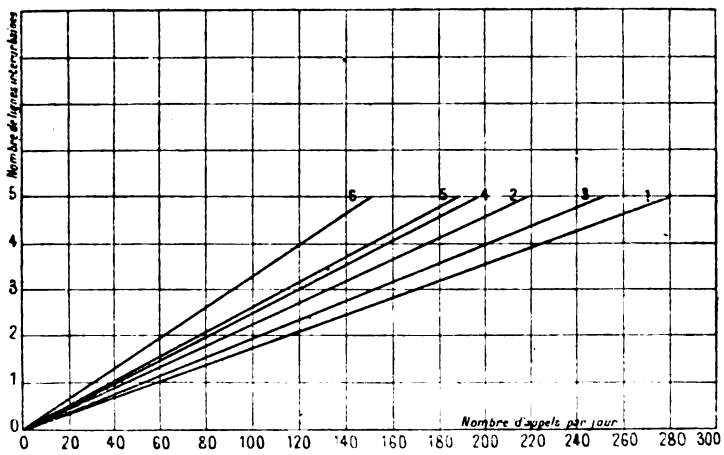


Fig. 2. — Courbes montrant le nombre d'appels qui peuvent être desservis sur différents groupes de lignes interurbaines par un opérateur manuel.

N° 1, classe *a*. Méthode à simple ticket. — N° 2, classe *a*. Méthode à double ticket. — N° 3, classe *b*. Méthode à simple ticket. — N° 4, classe *b*. Méthode à double ticket. — N° 5, classe *c*. Méthode à simple ticket. — N° 6, classe *c*. Méthode à double ticket.

Puisque, comme nous l'avons dit, une ligne interurbaine représente un important capital investi, tout gain qui peut être réalisé par la réduction du temps nécessaire à assurer les connexions peut avoir une importance considérable sur l'utilisation du circuit et est de nature à donner une plus juste satisfaction à ceux qui s'en servent.

On est amené à conclure que, tout comme pour la téléphonie locale, un système d'appareils, grâce auxquels il est possible de diminuer le nombre d'interventions manuelles nécessaires et de soustraire au contrôle des opérateurs tout ce qui peut être fait mécaniquement, sera de nature à améliorer le rendement des circuits interurbains.

Il y a également d'autres considérations dont il faut tenir compte. Suivant les conditions topographiques du réseau, les lignes reliant une ville à une autre passent souvent directement par une autre ville, comme par exemple : les lignes reliant B_3 avec B qui passent par B_2, ou bien celles entre B_3 et A qui passent par B_2 et B. Dans ces conditions, il semblerait que, pour obtenir le meilleur rendement de ces lignes, B_2 et B devraient servir de point de jonction intermédiaire pour les communications s'échangeant entre B_3 et B ou un autre point au-delà de B, car il est évident que le circuit direct entre B_3 et A peut souvent être libre à un moment où aucun circuit n'est disponible entre B et A. Cependant, les conditions du trafic et la méthode d'exploitation manuelle ne permettent pas généralement d'atteindre ce résultat, car on aurait à craindre, non seulement les pertes de transmissions additionnelles qui en résulteraient par l'introduction d'un point de coupure dans le circuit, mais surtout le ralentissement du service et l'augmentation des chances d'erreurs. La commutation auto-mécanique éviterait ces inconvénients ; son emploi peut, par conséquent, déterminer une distribution de lignes répondant à de meilleures conditions économiques, conformément au fait bien connu qu'un circuit est capable d'un plus grand nombre de communications lorsqu'il fait partie d'un grand groupe de lignes pouvant être utilisées dans un plus grand nombre de cas que lorsque les circuits sont disposés en plusieurs petits groupes.

Nous venons de voir l'intérêt qui s'attache à la mise en œuvre de procédés automatiques de commutation dans l'exploitation des lignes à longue distance, mais nous avons volontairement laissé de côté un ensemble de considérations qui semblent moins compatibles avec cette méthode. Il faut tenir compte, en effet, de ce que, en Amérique, où ces procédés commencent à être employés, les méthodes

Digitized by Google

d'exploitation sont différentes de celles adoptées généralement en Europe.

En Amérique le régime des communications interurbaines, connu sous le nom de « *no delay system* », est très répandu. Les circuits téléphoniques sont généralement assez nombreux pour que le délai d'attente soit extrêmement réduit et le service assuré dans des conditions particulièrement remarquables. La question de priorité dans l'établissement des communications a par conséquent une moindre importance puisque, dans un délai très court, on est certain de passer toutes les communications en attente. Il n'en est pas ainsi lorsque le nombre de circuits est faible, un ou deux par exemple, pour un trafic important. La priorité et l'alternat dans ce cas doivent être strictement observés, car l'attente est presque toujours très longue. Il semblerait dans ces conditions que ce n'est que par l'intervention des opératrices que l'on peut assurer l'écoulement méthodique des conversations.

Pour nous résumer, nous croyons que, pratiquement, le problème comporte d'assez grandes difficultés à résoudre et que la méthode ne peut être étendue à la généralité des cas. Mais on peut conclure, surtout en considérant l'état actuel des applications faites, qu'une adaptation judicieuse de ces moyens, répondant à un certain nombre de conditions locales, permettra dans la limite d'un réseau peu étendu d'améliorer une notable partie des communications. Ce n'est donc que comme application à des cas particuliers, là où les règles générales de l'exploitation actuelle peuvent sans inconvénient être modifiées, que la méthode présente son intérêt.

Il est important de remarquer que, si dans la téléphonie locale l'emploi de la commutation automatique est désirable, c'est surtout dans le but d'améliorer la qualité du service donné à l'abonné et aussi pour diminuer les charges d'exploitation exigées par un nombreux personnel, tandis que, dans la téléphonie à longue distance, l'emploi des commutateurs automatiques a pour objet de diminuer les charges d'établissement des lignes, par conséquent les tarifs, et finalement de permettre l'emploi du téléphone d'une façon plus étendue, c'est-à-dire plus accessible au public.

Nous nous proposons d'examiner dans cette étude, pour certaines catégories de communications à longue distance, le parti que l'on cherche à tirer en Amérique de l'emploi de la commutation automatique en nous bornant, bien entendu, à donner de simples indications plutôt qu'une description complète des appareils et liaisons à réaliser (1).

L'emploi de la commutation automatique peut être envisagé dans les deux cas suivants :

A. — Connexions entre un centre desservi par commutateur manuel et un centre desservi par commutateur automatique.

B. — Connexions entre les abonnés de deux ou plusieurs centres manuels.

(1) Pour l'étude détaillée de cette question voir :
Proceedings, juin 1912, Friendly and Burns.
Automatic Telephony, par Smith and Campbell.
Automatic operation of long distance lines, par John Wicks.
Telephony, 1er janvier 1916. Improving the efficiency of long distance service, par J. C. Boush.

A. — **Connexions entre un centre desservi par commutateur manuel et un centre desservi par commutateur automatique.** — Les premiers essais d'appel automatique sur les lignes interurbaines furent faits sur des circuits reliant des centres manuels à un centre automatique. Si nous nous reportons à la figure 1, il est évident que, si un centre manuel B est relié par une ligne directe à un centre automatique A, il suffit de donner un cadran d'appel à l'opératrice de B et d'équiper convenablement la ligne, côté automatique, pour que cette opératrice puisse prendre automatiquement les abonnés de A.

On sait que, dans le cas des communications automatiques locales, le circuit formé par les deux conducteurs qui servent à la transmission de la parole servent également à la commande des appareils de sélection. Cela est possible puisque l'envoi des signaux de commande ainsi que des signaux d'appel, d'une part, et l'échange de la communication, d'autre part, n'ont pas lieu en même temps. La connexion est d'abord établie par l'envoi d'un système d'impulsions électriques approprié sur la ligne et ce n'est qu'après l'appel de l'abonné que le circuit est placé automatiquement dans les conditions permettant la transmission de la parole.

L'appel automatique sur un circuit interurbain pourrait être fait suivant le même principe, mais il faut remarquer que, dans ce cas, l'emploi du circuit serait limité à sa constitution matérielle et le nombre de liaisons possibles serait diminué. Pour cette raison, il est préférable de commander les appareils sur un circuit indépendant du circuit de conversation en employant la méthode utilisée pour la téléphonie et la télégraphie simultanées, le circuit sera de la sorte susceptible d'être utilisé avec toute combinaison permettant des communications multiples et s'adapter notamment aux circuits combinés. Le problème se réduit dès lors à la superposition sur une ligne téléphonique d'un circuit télégraphique permettant l'envoi des impulsions de commande.

On peut disposer les circuits pour donner les possibilités suivantes :

1° à chacun des opérateurs B et B_1 d'appeler *automatiquement* un abonné de A ;

2° à l'opérateur de A d'appeler B et à l'opérateur de B d'appeler l'*opérateur* de A (dans le cas par exemple où celui-ci doit demander à être relié à un circuit relié à la table interurbaine de A) ;

3° à l'opérateur de B d'appeler B_1 et inversement.

Il est possible, par conséquent, d'éviter l'intervention de deux opérateurs pour les communications entre B_1 et A. L'établissement de la communication demande, dans ce cas, une manœuvre très simple et dure à peine quelques secondes. La déconnexion est instantanée et se fait dès que la fiche est retirée au poste B_1. Ce cas correspond aux communications manuelles de la classe *b*, mais

Digitized by Google

le temps nécessaire pour établir la communication est beaucoup plus faible que celui de la classe *a*. Il est évident que, dans la pratique, on peut trouver des cas très différents auxquels on peut toujours faire correspondre des arrangements de circuits appropriés. En particulier, on peut employer les méthodes que nous examinerons pour le cas général des communications à longue distance entre plusieurs centres manuels.

Des procédés de cette nature sont employés depuis plusieurs années dans les réseaux automatiques américains du type de l'Automatic Electric Co. L'application la plus importante est celle qui a été faite dans le réseau de Columbus (fig. 3). Cette ville est un centre interurbain de grand trafic possédant 22 tables interurbaines. Les tables interurbaines de plus de 30 autres villes, dont la distance de Columbus varie de 17 à 190 km, sont équipées avec cadran et les divers circuits aboutissent à Columbus à des sélecteurs. Des connecteurs spéciaux permettent également de relier entre elles les différentes lignes interurbaines. Bien que le trafic ait été constamment en augmentation, le personnel de l'interurbain de Columbus a été réduit de 50 pour 100 (1).

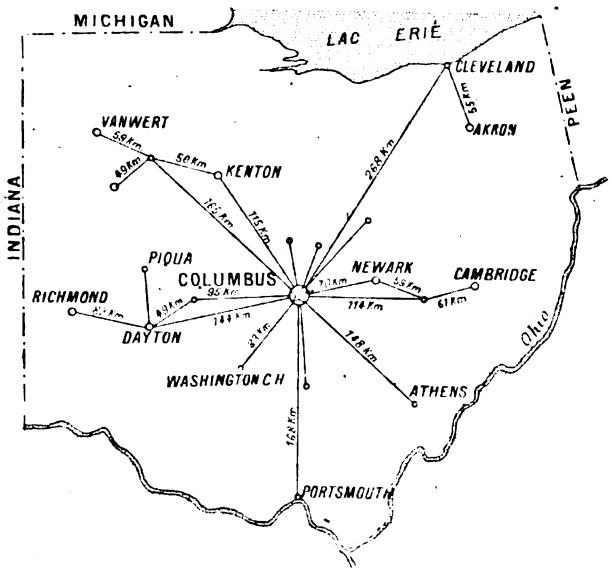


Fig. 3. — ⊕ Central automatique. ○ Station équipée pour appeler par cadran un central automatique.

Des essais effectués à Owosso dans l'état de Michigan, sur une ligne reliée au central automatique de Lansing, ont donné pour l'appel manuel une durée moyenne d'établissement de 59 secondes et pour l'appel automatique de 15 secondes. Le même circuit est capable par conséquent, dans les conditions parfaites du trafic, de 15 communications de trois minutes lorsqu'il est exploité manuellement, et de 18,4 par l'appel automatique. En dehors de cette économie, il faut tenir compte également de l'économie de personnel qui en résulte.

L'appel automatique sur lignes interurbaines reliées à un central automatique a été récemment adopté en Angleterre entre le central automatique de Blackburn et un certain nombre de centraux manuels.

B. — **Connexions entre lignes interurbaines desservant deux ou plusieurs centres manuels.** — Le but de l'emploi de la commutation automatique dans le service interurbain entre plusieurs centres manuels, est de permettre la liaison de plusieurs circuits bout à bout par la manœuvre successive d'un sélecteur dans chacune des stations où aboutissent ces circuits. Ces manœuvres sont commandées par l'opérateur de départ, à l'aide d'un cadran d'appel.

Conditions a remplir. — Une première condition, que doit remplir l'équipement des appareils, est de permettre, à la volonté de l'opérateur, aussi bien la commande automatique que la connexion manuelle. En effet, un circuit interurbain peut être utilisé seul, dans le cas où la communication doit s'établir entre les abonnés de chacun des deux centres reliés par cette ligne, ou bien en connexion avec d'autres circuits lorsque les centres entre lesquels la communication doit être établie ne possèdent pas de ligne directe. Dans le premier cas, aucune sélection à distance de circuits n'est nécessaire.

Cette condition résulte également de ce que, si l'appareillage de commutation a pour but d'assurer la liaison des circuits entre eux, la mise en communication avec les abonnés une fois cette liaison assurée ne peut être faite que manuellement. Autrement dit, étant donnés plusieurs centraux A, B, C, D, le rôle des appareils de connexion est de permettre simplement la constitution de circuits directs entre deux quelconques de ces centraux.

Pour mieux comprendre les moyens de réalisation de cette première condition, considérons la figure 4 dans laquelle sont représentés schématiquement les organes affectés aux lignes interurbaines reliant quatre bureaux A, B, A_1, B_1.

Sur l'un quelconque des circuits reliant les bureaux B et B_1, doivent pouvoir s'échanger :

a) Les communications demandées par les abonnés de B_1 pour les abonnés de B, ou inversement, lesquelles ne peuvent s'échanger que manuellement;

b) Les communications demandées par les abonnés de B_1 pour un abonné d'un centre tel que A qui n'est pas relié par ligne directe à B_1, mais qui est relié à B; ces communications peuvent être établies automatiquement par B_1 si la ligne reliant B_1 à B aboutit dans ce dernier bureau à un sélecteur qui peut avoir accès à un banc de contacts sur lequel sont reliées toutes les lignes aboutissant au centre B et, en particulier, celles le reliant à A. De ces deux conditions il résulte que les circuits doivent comporter aussi bien l'équipement normal permettant l'exploitation manuelle que les appareils de sé-

(1) Un essai d'appel direct des abonnés automatiques sur ligne interurbaine a été effectué en 1914 par l'administration française des Postes et Télégraphes, entre Marseille et le centr al automatique de Nice.

Digitized by Google

lection automatique pour les liaisons entre circuits.

La figure 4 montre schématiquement l'équipement essentiel des circuits. La partie manuelle comprend le jack d'appel J_1, la lampe d'appel V_1 et la lampe d'occupation L_1. Le même circuit peut être multiplié sur d'autres tables, il aboutit dans ce cas sur ces tables à un jack muni d'une lampe d'occupation. L'équipement automatique comporte le sélecteur S et le banc de contacts C. Sur le banc de contacts C_1, par exemple, sont reliées toutes les lignes aboutissant à B. La ligne n° 1 entre B_1 et B peut être connectée à la ligne n° 2 entre B et A, soit manuellement par un cordon reliant J_1 à J_2, soit automatiquement par le balais du sélecteur S_1 au banc de contact C_2 ou par le balais du sélecteur S_2 au banc de contact C_1.

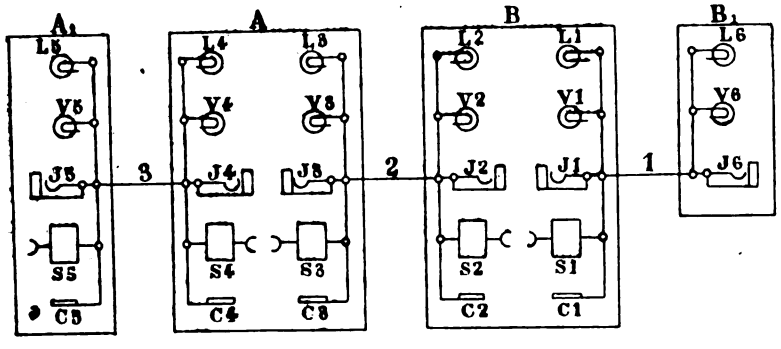


Fig. 4.

Supposons qu'une ligne soit prise par l'opérateur B_1. Dans l'opération manuelle, l'introduction de la fiche coupe l'annonciateur de cette ligne au poste B_1 et allume les lampes d'occupation multiplées, mais rien ne se passe à B et si un opérateur B prend au même moment cette ligne, aucun inconvénient ne peut en résulter. Par contre, ce fait doit être évité lorsqu'on utilise la commutation automatique, car il en résulterait des interférences pouvant empêcher toute communication de s'établir. Il est donc nécessaire que les lampes d'occupation à B s'allument dès l'enfoncement d'une fiche dans B_1 et en même temps qu'un potentiel de garde soit placé sur les bancs de contacts, au contact correspondant à la ligne n° 1.

Dans la commutation manuelle, l'envoi du courant d'appel par l'opérateur B_1 provoque l'allumage de la lampe d'appel et des lampes d'occupation de B Lorsque l'opérateur de B répond, l'annonciateur d'appel est mis hors circuit et la lampe d'appel s'éteint. Dans la commutation automatique, l'opérateur B_1 en enfonçant la fiche peut désirer, suivant le cas, appeler l'opérateur de B ou bien manœuvrer le cadran pour prendre une ligne reliée à B. Pour cette raison, si la lampe d'occupation à B, comme nous l'avons vu plus haut, doit s'allumer, il faut aussi que l'annonciateur de B ne soit coupé qu'après le fonctionnement du sélecteur S_1.

L'introduction de la fiche à B_1 doit, par conséquent, avoir pour effet :

1° De couper l'annonciateur d'appel à B_1 et d'allumer les lampes d'occupation correspondantes ;

2° Allumer les lampes d'occupation à B et relier la terre au contact de garde C_1, mais ne pas allumer la lampe d'appel ou couper l'annonciateur de cette ligne.

Si l'opérateur B_1 envoie le signal d'appel, la lampe L_1 doit s'allumer. Si l'opérateur de B répond en enfonçant dans J_1, l'annonciateur doit être mis hors circuit et la lampe doit s'éteindre.

Si l'opérateur B_1 manœuvre le cadran pour mettre en marche S_1, l'annonciateur de B doit également être coupé mais la lampe L_1 ne doit pas s'allumer.

Lorsque S_1 a relié son frotteur avec un contact libre du banc C_2 correspondant par exemple à la ligne n° 2 entre B et A, les lampes V_2 à B et V_3 à A doivent s'allumer de la même façon et la terre doit être connectée au contact de garde de C_3.

Les diverses opérations pour l'appel automatique entre B_1 et A_1 peuvent se résumer ainsi :

a) L'opérateur B_1 introduit la fiche dans J_6, l'annonciateur est mis hors circuit. Les lampes V_6 et V_1 s'allument. La terre est mise sur le contact de garde C_1.

b) L'opérateur B_1 effectue le premier numéro sur son cadran. Annonciateur coupé. Le frotteur de S_1 vient en connexion avec le contact de la ligne n° 2 au banc C_2, V_2 et V_3 s'allument. Les contacts de garde de la ligne n° 2 sur les bancs C_2 et C_3 reçoivent le potentiel de garde.

c) L'opérateur B_1 effectue le deuxième numéro. Annonciateur coupé. Le frotteur de S_3 vient en contact de la ligne n° 3 au banc C_4. V_4 s'allume. Le contact de garde de la ligne n° 3 sur bancs C_4 et C_5 reçoit le potentiel de garde. Annonciateur coupé.

d) L'opérateur B_1 envoie courant d'appel. Le courant est répété d'abord à B, ensuite à A et finalement actionne annonciateur, allume L_5

e) L'opérateur B_1 retire la fiche. Les sélecteurs reviennent au repos.

ARRANGEMENT DES CIRCUITS. — Nous avons déjà montré la nécessité de commander les appareils de commutation sur un circuit indépendant du circuit de conversation, en employant la méthode utilisée pour la télé-

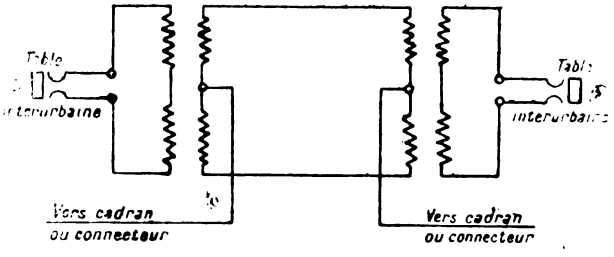


Fig. 5.

Digitized by Google

phonie et la télégraphie simultanées. La constitution des circuits peut être obtenue soit avec le montage à transformateurs (fig. 5), soit avec le montage à condensateurs et bobines de réactance (fig. 6).

Dans le montage de la figure 5, la présence du transformateur introduit une perte de transmission assez grande. Avec un translateur parfaitement approprié, cette perte correspond à moins de 1 280 m de câble normal. Avec le montage de la figure 5, l'emploi d'une bobine de réactance en forme de tore à forte impédance et circuits parfaitement équilibrés permet d'obtenir une perte correspondant seulement à 480 m de câble normal. Il est souvent nécessaire d'établir les circuits de manière à obtenir des communications simultanées téléphoniques et télégraphiques, ou bien de les disposer pour réaliser des circuits de combinaison.

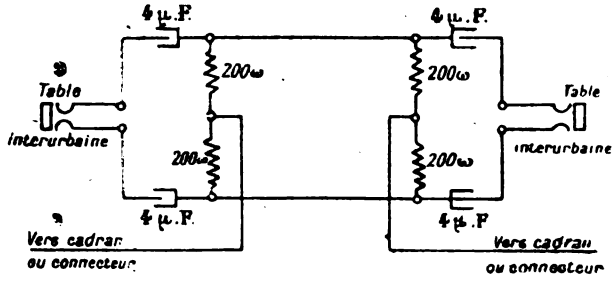


Fig. 6.

La figure 7, qui représente un montage utilisé par l'Automatic Telephone and Telegraph C°, donne un circuit téléphonique et deux circuits télégraphiques. Un des circuits télégraphiques peut être utilisé pour la commutation automatique. Ce circuit est soustrait pratiquement aux interférences entre le circuit de conversation et les circuits de commande. Les enroulements des bobines doivent être très exactement équilibrés inductivement, car, s'il n'en était pas ainsi, toute variation des potentiels des terres des circuits télégraphiques pourrait se répercuter sur le circuit de conversation. L'équilibre obtenu avec les bobines A, B, C et D doit se maintenir même lorsque les impulsions électriques sont transmises sur les circuits par le fonctionnement du cadran d'appel. La coupure du relais F, par exemple, déséquilibre le circuit, mais l'impédance de la bobine A est telle, par rapport au condensateur J, que le shuntage de ce condensateur par le relais F, qui possède également une très forte impédance, a très peu d'effet sur l'impédance totale. Mais, d'autre part, si on substitue à la terre de F la batterie, pour la transmission d'un signal, une partie de l'impulsion est transmise à travers le condensateur O, le téléphone relié à travers le circuit et la terre qui se trouvent de l'autre côté de la ligne. Pour annuler l'effet de cette dérivation, la bobine A est construite et reliée de manière à ce qu'un courant de direction contraire soit induit dans l'autre enroulement de A qui charge le condensateur P. Dans ces conditions, l'interférence est pratiquement négligeable.

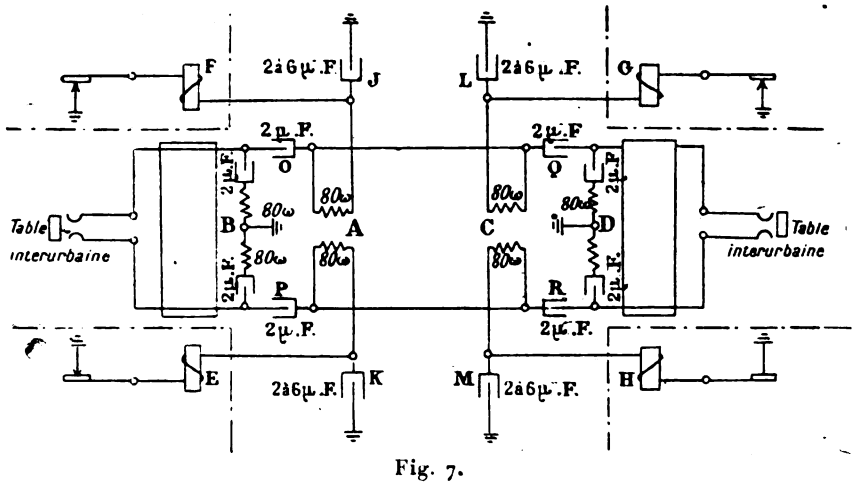


Fig. 7.

Etant donnée la faible résistance ohmique des bobines et la faible capacité des condensateurs O, P, etc., il n'est pas possible d'envoyer un courant alternatif de fréquence courante pour l'appel, sans qu'il y ait interférence avec les relais E, F, etc. On utilise un dispositif permettant de renvoyer sur la ligne, à la place du courant normal qu'il reçoit, un courant à la fréquence de 300 p: sec. Ce courant, qui n'agit pas sur les relais, est reçu dans un relais spécial faisant partie du dispositif d'appel de l'autre extrémité de la ligne qui, à son tour, retransmet à l'annonciateur d'appel un courant de fréquence ordinaire.

La commutation automatique peut, comme nous l'avons dit, s'adapter également aux circuits fantômes. Avec deux circuits téléphoniques, on obtient trois circuits de conversation et deux circuits télégraphiques, ou bien, avec un montage différent, trois circuits de conversation et quatre circuits télégraphiques.

Nous citerons en terminant une des applications qui a été faite en Amérique dans le district de Dakota. La figure 8 représente schématiquement les lignes interurbaines de ce réseau particulier dont le centre est à Doland, avant la mise en service de l'exploitation automatique. Ce centre se trouve éloigné de 90 à 110 km des trois villes Aberdeen, Huron et Watertown. Aberdeen est relié à Doland par un circuit réel passant par Redfield. Ce circuit est combiné en circuit fantôme avec deux circuits réels dont l'un entre Aberdeen et Redfield et l'autre entre Redfield et Doland. Un autre circuit réel partant de Doland est relié à un circuit fantôme entre Groton et Aberdeen. De cette manière, il y a en tout trois circuits directs entre Doland et Aberdeen.

Digitized by Google

Comme on le voit sur la figure 8, il existe également trois circuits directs entre Doland et chacun des centraux Huron et Watertown. Le fantôme Aberdeen est relié à Doland à l'un des circuits physiques de Watertown. De même, le circuit Groton est relié au fantôme

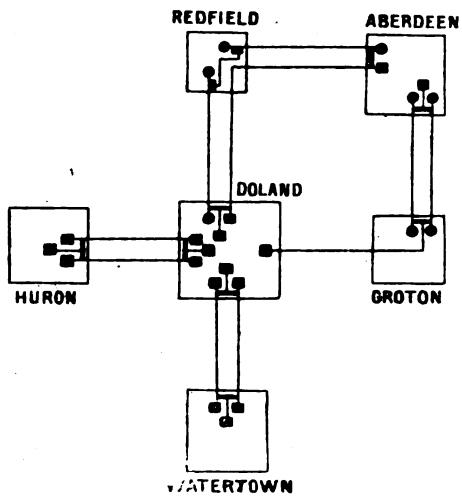


Fig. 8.

sont occupées, l'opérateur reçoit le signal d'occupation. Si l'une des lignes est libre, il fait le numéro de l'abonné demandé et la communication peut avoir lieu de suite. (Si Watertown était un centre manuel, la communication serait complétée par l'opérateur de ce bureau.)

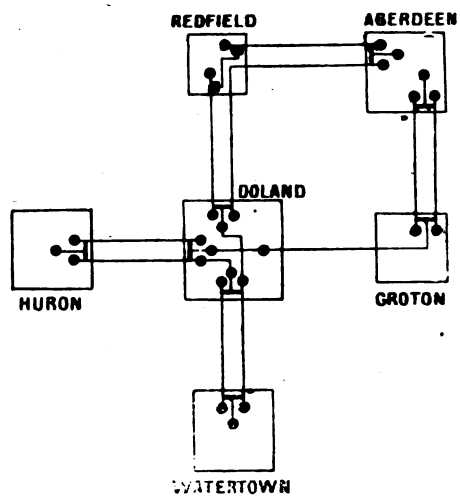


Fig. 9.

Huron et le fantôme Watertown à l'un des circuits de Huron.

Comme le trafic était très chargé par rapport au nombre de circuits dont on disposait et comme, d'autre part, les centraux Aberdeen, Watertown et Huron furent dotés d'un commutateur automatique, la compagnie exploitante décida de couper les circuits directs de Doland et d'équiper tous les circuits dans cette station avec des appareils de commutation automatique.

La figure 9 représente la distribution des lignes après cette transformation. On voit que tous les circuits aboutissant à Doland peuvent être utilisés par tous les autres bureaux pour leurs relations. Le système devient ainsi plus flexible et comme, dans tous les cas, les communications sont établies par un seul opérateur, le temps d'utilisation des circuits est plus réduit et, par conséquent, le service est décongestionné.

Le système fonctionne de la manière suivante :

Supposons, par exemple, que l'opérateur de Aberdeen désire une communication pour un abonné de Watertown. Cet opérateur enfonce sa fiche dans un jack d'une ligne reliée à Doland et fait, à l'aide de son cadran, le numéro conventionnel correspondant aux lignes reliant Doland à Watertown. Si toutes les lignes

Lorsque l'opérateur de Aberdeen retire sa fiche après avoir reçu le signal de fin (ce signal est automatique et serait également automatique si le central Watertown était équipé avec commutateur manuel à batterie centrale), la communication est coupée automatiquement à Doland et les circuits redeviennent libres.

L'entretien de l'équipement automatique de Doland, quoique spécial et assez compliqué, est assuré par un seul mécanicien. Lorsqu'un dérangement se produit, le circuit est porté « occupé » et il ne peut pas être pris par les opérateurs des autres stations.

Abonnés interurbains. — Dans un central interurbain équipé avec commutateurs automatiques, les abonnés interurbains spéciaux, ou même les abonnés ordinaires à grand trafic interurbain, peuvent être pris automatiquement par les opérateurs des autres centraux interurbains si on installe des connecteurs spécialement affectés à ces abonnés.

C. Janculesco,
Ingénieur des Postes et Télégraphes en disponibilité, ingénieur à la Compagnie Thomson-Houston.

Digitized by Google

A travers les stations électriques dévastées

Les Aciéries de Longwy (Mont-Saint-Martin)

Par la lecture de cet article et la vue des reproductions photographiques publiées dans les planches hors texte, le lecteur se rendra compte des dévastations systématiquement commises par les Allemands dans l'un de nos plus importants établissements métallurgiques.

La sensation qu'on éprouve, en contemplant les ruines accumulées par l'occupation germanique sur notre territoire, est analogue à celle qu'on ressent en visitant des campagnes affectées par un tremblement de terre. Il semble qu'il s'agisse plus volontiers d'un cataclysme d'ordre naturel que de dévastations humaines. Les nouveaux Huns ont laissé loin derrière eux les compagnons d'Attila.

Les dégâts sont particulièrement effroyables dans les usines sidérurgiques de la région de Briey-Longwy, à Auboné, à Homécourt, à Villerupt, et surtout à Mont-Saint-Martin.

Des magnifiques établissements édifiés par la puissante Société des Aciéries de Longwy, à Mont-Saint-Martin et Moulaine, il ne reste, à proprement parler, que de la ferraille. Les installations ont été ou enlevées et transportées en Allemagne, ou détruites; suivant le mot de M. l'administrateur-délégué Dreux, « les usines ont été abattues, après avoir été vidées de ce qu'elles renfermaient ou à peu près ». On peut donc employer l'expression de cataclysme pour caractériser les déprédations commises.

Nous nous bornerons, dans cette revue, à parcourir les installations intéressant la production électrique. Elles étaient des plus conséquentes. Il fallait, en effet, une puissance considérable pour alimenter les établissements longoviciens, qui comprenaient 8 hauts-fourneaux à feu, une aciérie Thomas pourvue de 7 convertisseurs de grande capacité, une aciérie Martin à 5 fours de 60 et 25 tonnes, 14 trains de laminoirs, des fonderies de fonte, d'acier et de bronze, divers ateliers, des moulins à scories, etc. Il convient de rappeler, à cette occasion, que les usines de Mont-Saint-Martin et Moulaine étaient outillées pour une production de 1 200 tonnes de fonte par jour, 200 000 tonnes d'acier Martin par an, 250 000 à 300 000 tonnes d'aciers laminés, 40 000 briques de laitier par jour, et 300 tonnes de scories de déphosphoration quotidiennement.

Les ateliers longoviciens comportaient cinq stations centrales, d'une puissance totale de près de 20 000 ch.

La grande station centrale, établie par la société en 1903, était constituée par 4 groupes électrogènes à gaz de 800 ch, et une machine à vapeur Hoyois. De cet établissement, il ne reste plus que les murs (fig. 1 et 2, planche I).

A la station B se trouvait un moteur Letombe de 250 ch. Cette station a été complètement bouleversée (fig. 3, planche II).

La station de 1908 a, toutefois, été plus épargnée Les envahisseurs ont laissé intacts, en état de marche, les deux groupes électrogènes à vapeur de 600 ch, les 6 chaudières de Naeyer et les 4 groupes à gaz de 2 200 ch. Cette station (fig. 4 et 5, planches II et III), serait presque complète, si le soccupants n'avaient pris soin de s'approprier le groupe à gaz de 6 000 ch. Celui-ci a été expédié en 1918 aux Rheinische Stahlwerke, de Duisbourge, où il se trouve encore présentement.

La station de Moulaine a été dépouillée dans les mêmes conditions. Une machine Sulzer et sa dynamo ont été acheminées sur les usines de Rehon en juin 1917. On a laissé sur place l'autre machine Sulzer et deux machines Hoyois, mais leurs dynamos ont été partiellement démolies et ne sauraient plus être utilisées.

La même politique de destruction a été appliquée à la station de 1912. Le groupe électrogène de 1 200 ch et la machine à vapeur Hoyois ont été épargnés, mais on a fortement endommagé la dynamo commandée par cette dernière.

Il importe immédiatement de considérer que si, dans une certaine mesure, les Allemands ont laissé subsister une partie des aménagements des stations électriques, ils ont systématiquement dérobé toutes les lignes de transmission d'énergie desservant les usines.

D'un autre côté ils ont largement fait main basse sur les appareils électriques disséminés dans les ateliers, et qui ont servi à renforcer leurs propres établissements, et ils ont poussé la barbarie jusqu'à briser ce qu'ils ne jugeaient pas devoir s'attribuer.

Aux anciens laminoirs, la machine à vapeur réversible de 4 000 ch actionnant le train de grosses tôles a été complètement démolie. Il en a été de même de la machine à vapeur de 5 000 ch actionnant le train réversible à rails (fig. 7, planche IV).

S'ils n'ont brisé que la machine à vapeur Hoyois de 1 000 ch qui desservait le train universel trio et le train de tôles moyennes, ils ont, d'autre part, confisqué, en février 1918, le moteur de 1 000 ch qui actionnait ces trains avec la machine Hoyois (fig. 6, planche III).

Le moteur électrique du train trio a pris le chemin de Solingen et a été livré à la Bergishestahl-industrie de Rommscheid; celui de 1 500 ch du train cadet a été dirigé sur Dusseldorf (société Phœnix), tandis que la machine à vapeur de réserve de 1 000 ch était détruite.

Les Allemands ont également enlevé le moteur électrique de 800 ch et celui de 1 200 ch.

Les rapts et destructions n'ont pas été moins consi-

Digitized by Google

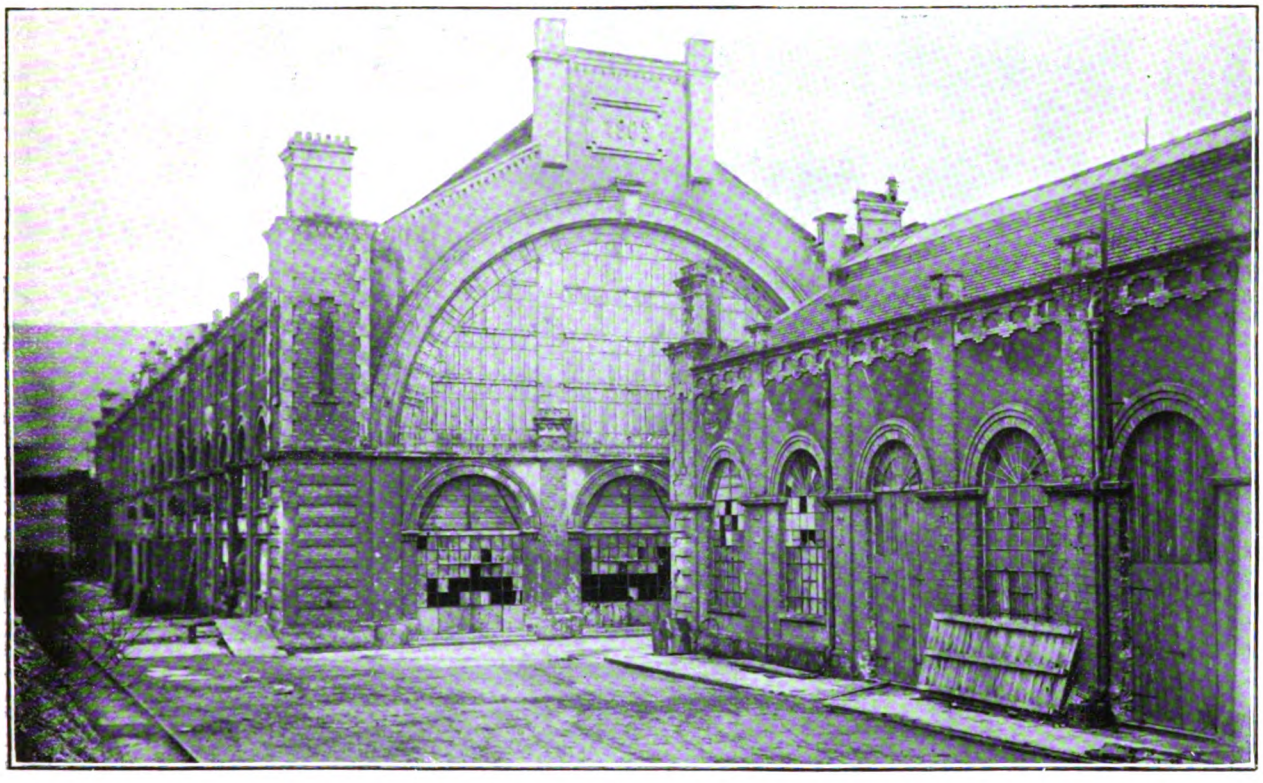


Fig. 1. — Vue extérieure de la station 1903 et du bâtiment des pompes.

Fig. 2 — Sous-station électrique installée à l'emplacement des groupes électrogènes de 400 ch. dans la station C.

LES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES DES ACIÉRIES DE LONGWY (Texte p. 602)

Digitized by Google

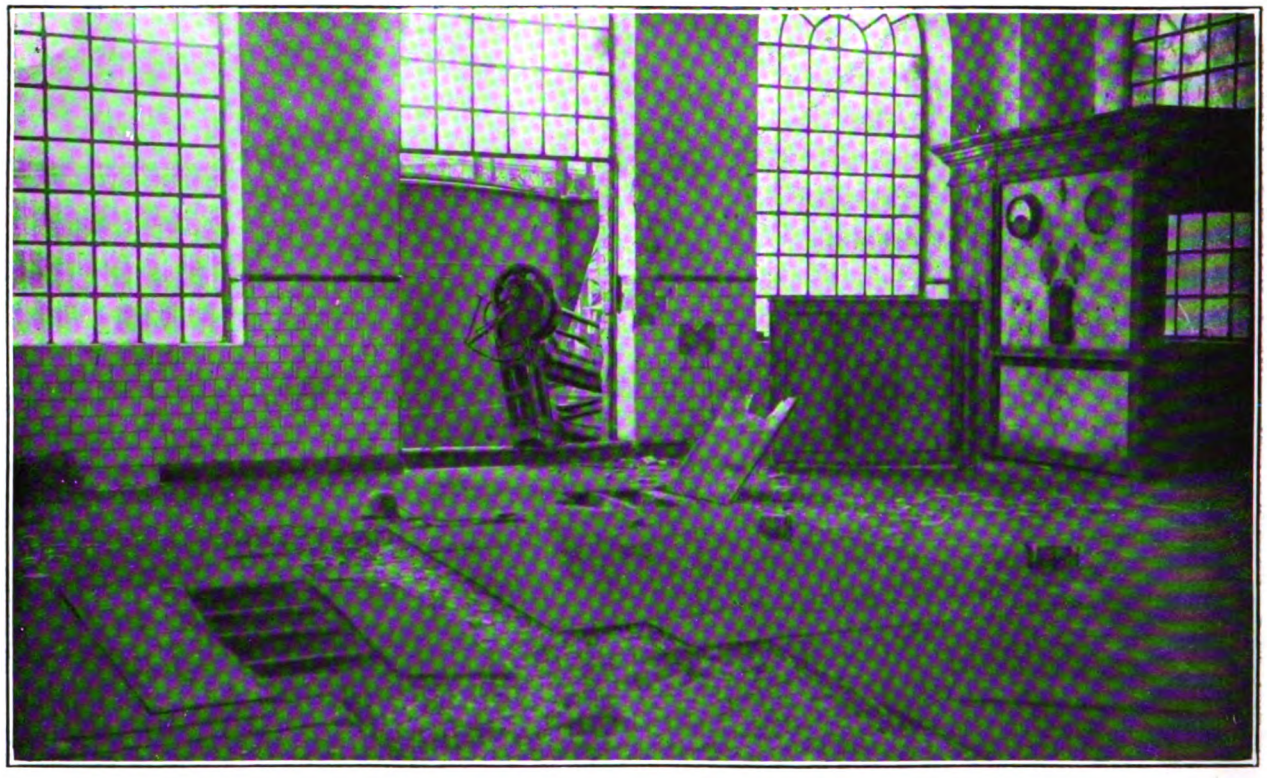


Fig. 3. — Vue intérieure de la salle du moteur Letombe, montrant le pont roulant démonté et sorti en partie du bâtiment

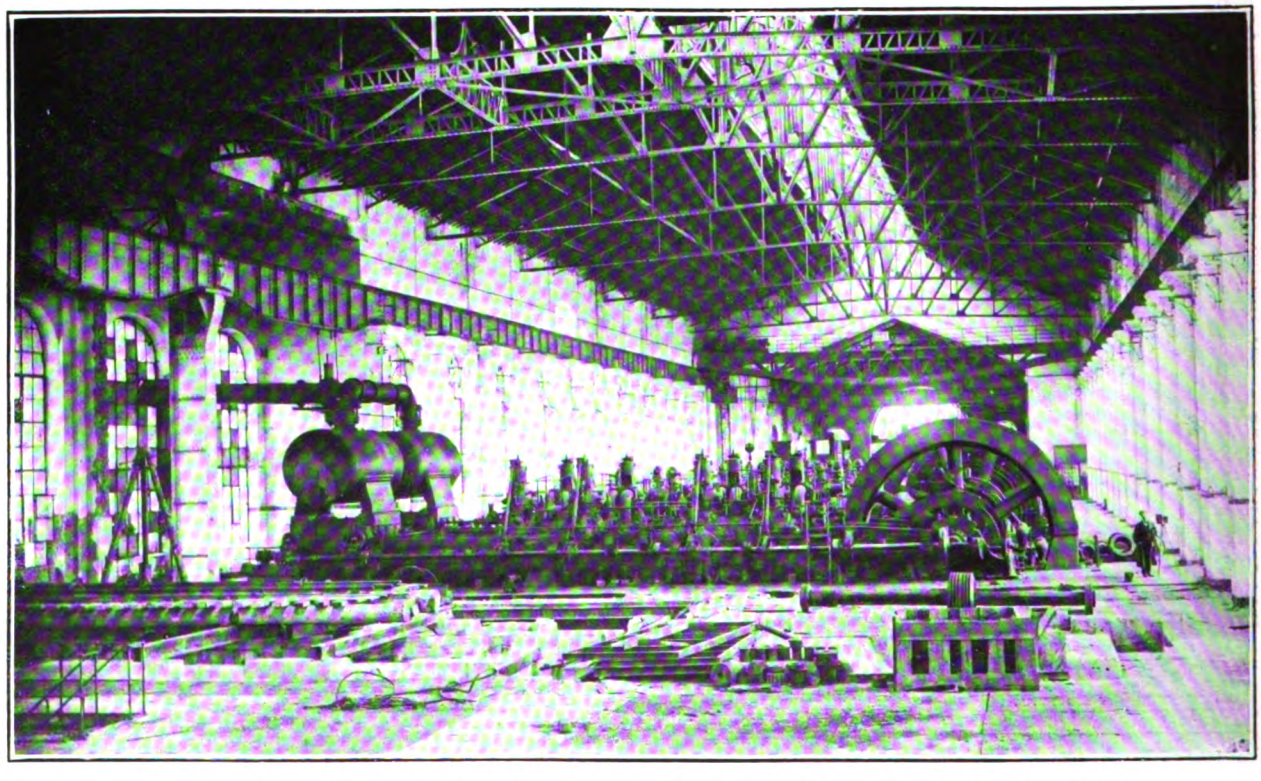


Fig. 4 — Vue intérieure de la station D montrant l'emplacement du groupe 6 000 ch enlevé.

Digitized by Google

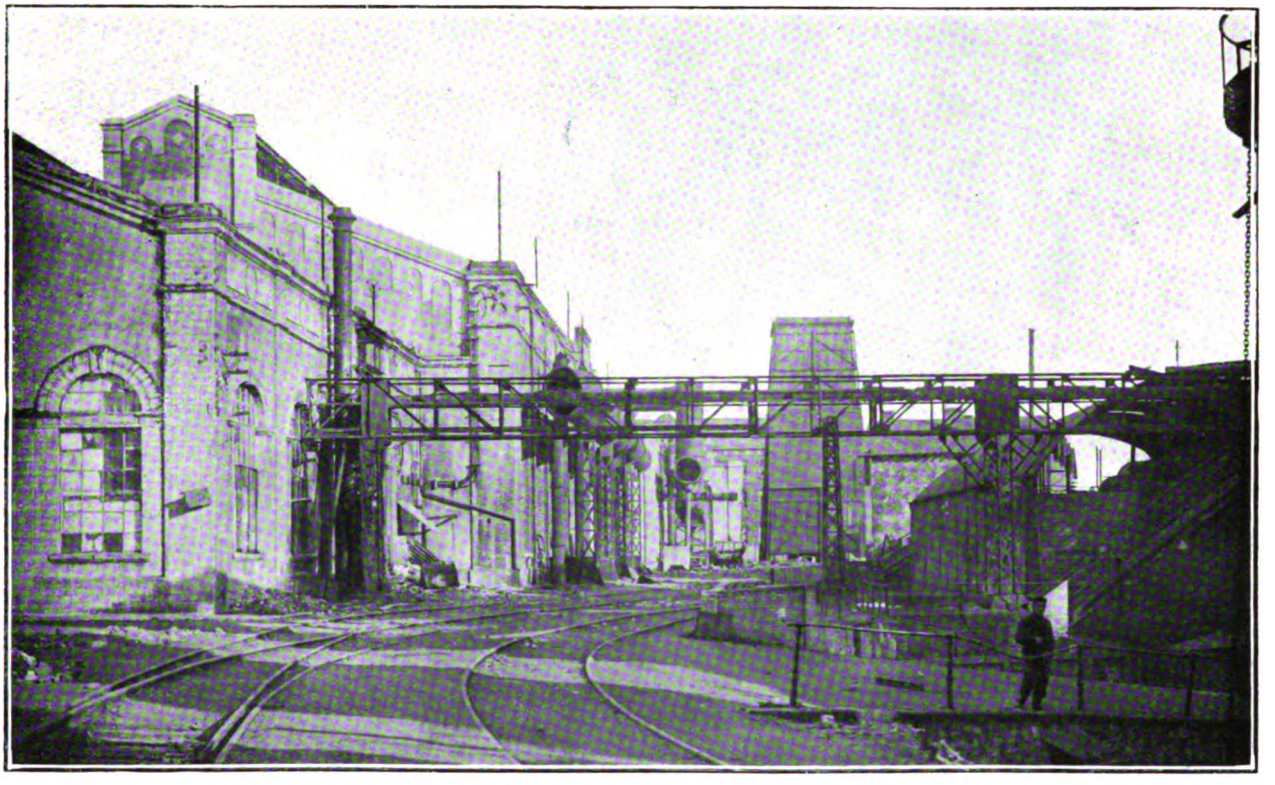


Fig. 5. — Vue extérieure des stations A et D montrant les parties de tuyauterie de gaz épuré enlevées.

Fig. 6. — Ce qui subsiste du train trio de moteur de 1 000 ch.

LES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES DES ACIÉRIES DE LONGWY (Texte p. 602)

Digitized by Google

Fig. 7. — Ce qui reste de la machine du train réversible.

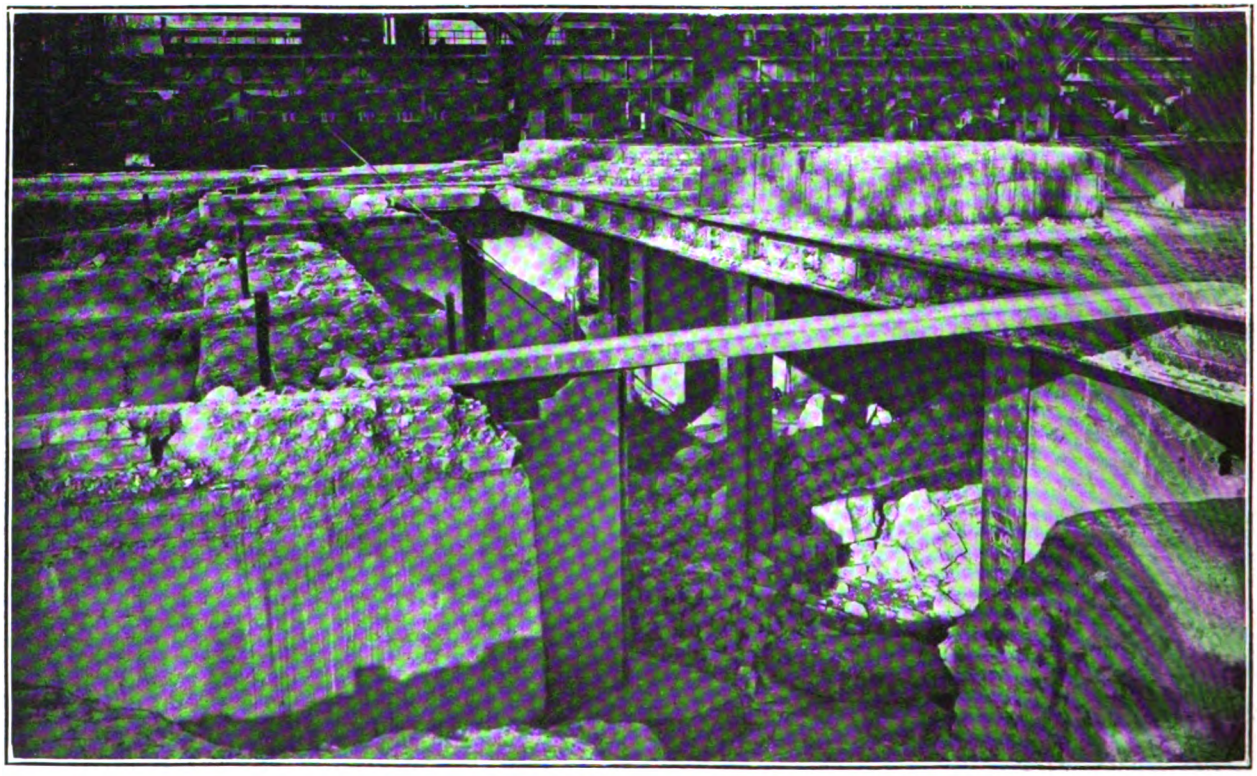


Fig. 8. — Fondations du groupe Ilgner.

LES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES DES ACIÉRIES DE LONGWY (Texte p. 602)

Digitized by Google

dérables au blooming II et à la tôlerie III, d'installation plus récente.

Le train blooming duo réversible et le train duo à grosses tôles étaient actionnés par un moteur réversible à courant continu Déri, avec enroulements compound et compensateur pour un couple normal correspondant à une puissance de 4500 ch. Les célèbres frères Mannesmann, de Duisbourg, se sont vus octroyer cet appareil avec le groupe convertisseur Ilgner et l'accouplement Ortmann (fig. 7 et 8).

Enfin, les laminoirs à petits fers comportaient trois moteurs électriques de 1000 ch et un de 1600 ch pour la commande des trains. Ces appareils sont devenus l'apanage des aciéries d'Aumetz-la-Paix, à Knuttange.

Une de nos photographies présente, à ce sujet, un intérêt particulier sur lequel nous croyons devoir attirer l'attention. Non contents de voler, les Allemands se sont faits un malin plaisir de saper — à la dynamite — les fondations des appareils, de manière à empêcher une prompte reprise du travail dans les usines, dans le cas où les exploitants pourraient se procurer des machines de remplacement. C'est ce qui apparaît nettement dans la figure 8 (planche IV), représentant les fondations du groupe Ilgner.

Les occupants se sont attaqués d'un autre côté, avec non moins d'acharnement, sur les chaudières : 11 chaudières de la section des hauts-fourneaux ont été brisées, en partie ou totalement, ainsi que les cabestans électriques et les commandes électriques des hauts fourneaux et aciéries.

Les Allemands n'ont même pas dédaigné les menus appareils d'éclairage électrique et, le 29 janvier 1916, ils se sont fait livrer toutes les lampes de réserve des magasins.

L'un des reîtres qui ont ordonné ces spoliations ou ces dévastations, du nom de Dreier, prétendait « qu'il laisserait les aciéries de Mont-Saint-Martin dépouillées, au point qu'on en pourrait cultiver désormais le sol ».

De fait, les crimes commis avec la férocité d'un autre âge ont été si nombreux, si raffinés que, d'un des plus beaux ateliers sidérurgiques de la France, il ne demeure que des débris informes, devant lesquels il faut se découvrir comme devant une tombe.

Auguste PAWLOWSKI.

Le chemin de fer électrique à écartement de 0,60 m

On a construit pendant la guerre une quantité considérable de matériel de chemin de fer à voie de 0,60 m ; il faut penser à utiliser maintenant ce matériel. Une grande partie servira à établir des chemins de fer agricoles, d'exploitation forestière, des chemins de fer à pose rapide pour les grandes entreprises de travaux publics. Le nombre de locomotives à vapeur pour voie de 0,60 m actuellement construites est très grand ; elles serviront à l'exploitation des lignes dont nous venons de parler. Cependant, elles ne permettent pas l'exploitation intensive des lignes à voie de 0,60 m. M. L. Esbran (1) le montre dans un intéressant mémoire qu'il a présenté à la Société française des Electriciens et que nous analysons ci-dessous ; il prouve que la traction électrique, au contraire, se prête excessivement bien à cette exploitation et permettra même la construction de lignes à voie de 0,60 m présentant un caractère permanent et pouvant assurer un trafic aussi intense que les lignes à voie de 1 m et à locomotives à vapeur, tant pour le service des marchandises que pour celui des voyageurs.

Généralités. — Quand on établit une voie ferrée nouvelle, l'écartement de cette voie peut être fixé à l'avance soit par des règlements administratifs, soit par la nécessité de raccordement à une autre ligne existante. Mais il est des cas où aucune condition locale n'intervient, on a alors à choisir entre les trois écartements habituellement utilisés savoir : 1,44 m, 1 m et 0,60 m.

La voie de 1,44 m est celle des grands réseaux de chemins de fer, elle représente 70 pour 100 des voies ferrées du globe ; la voie de 1 m est la voie des chemins de fer à trafic peu intense, elle est très employée en Europe pour les chemins de fer d'intérêt local, aux colonies, dans les pays neufs de vaste étendue comme le Brésil, les Indes, etc., elle représente environ 12 pour 100 de l'étendue totale des chemins de fer du monde.

(1) L. ESBRAN ; Le Chemin de fer électrique à écartement de 0,60 m. *Bulletin de la Société française des Electriciens*, janvier 1919, t. IX, 3e série, p. 53 à 71, 4 fig.

La voie de 0,60 m est employée surtout avec un caractère provisoire, dans les chantiers, ou encore, et sur une grande échelle, pour le transport de munitions et d'approvisionnement pour les armées en campagne. Cette voie peut dans ces cas se poser très rapidement et ne nécessite que de très faibles travaux d'infrastructure.

La voie de 0,60 m est encore employée dans quelques endroits, avec un caractère définitif, sur certaines lignes secondaires. En France, le réseau des Chemins de fer du Calvados, d'un développement de 226 km, est à voie de 0,60 m.

Actuellement, nos règlements d'administration publique, tout en prévoyant la possibilité de l'emploi de la voie de 0,60 m, préconisent l'adoption de la voie de 1 m pour les chemins de fer d'intérêt local. Cela tient à ce que ces règlements ont été établis en considérant seulement l'exploitation de ces voies par locomotives à

Digitized by Google

vapeur. La locomotive à vapeur à voie de 0,60 m est de puissance faible, la charge maximum par essieu varie de 3 à 7 t, et la locomotive est loin d'être économique comme toutes les machines à vapeur de faible puissance; la vitesse en rampe est généralement insuffisante; ces différentes raisons limitent considérablement la capacité de transport des chemins de fer à voie de 0,60 m.

L'application de la traction électrique à ces chemins de fer augmenterait dans de très fortes proportions leur capacité de transport; jusqu'ici rien n'a été fait dans ce sens, sauf l'électrification des chemins de fer miniers.

Voies de 0,60 m à pose rapide. — Le poids du rail est de 9 kg au mètre courant : les rails sont montés sur traverses métalliques rivées en longueur de façon que l'ensemble d'une section puisse être manipulé facilement par un nombre d'hommes réduit.

Le rayon minimum des courbes est de 20 m et la rampe maximum admise est de 3,5 pour 100 ; les voies sont posées directement sur le sol et ne sont ballastées qu'occasionnellement. Le poids maximum par essieu ne doit pas dépasser 3,5 t.

Ces conditions fixent les caractéristiques des locomotives à vapeur destinées à assurer le service des voies de 0,60 m : l'empattement doit être d'environ 1,50 m pour assurer la bonne inscription en courbe, ce qui fixe le nombre des esssieux couplés à trois avec un diamètre des roues de 600 à 650 mm, et le poids adhérent à $3 \times 3{,}5 = 10{,}5$ t. La puissance des machines est limitée à 60 ou 80 ch effectifs aux jantes des roues motrices. En pratique, les locomotives à 3 essieux couplés ont une tendance à dérailler due aux conditions généralement défectueuses de l'établissement de la voie.

L'auteur donne les caractéristiques de deux locomotives à vapeur pour voie de 0,60 m, l'une est à 3 essieux couplés (0-6-0) [1] et fournit un effort de traction de 2 150 kg à la jante des roues motrices, l'autre à trois essieux couplés et bogie (4-6-0) donne un effort à la jante de 2 430 kg. Ces locomotives peuvent, sur une rampe de 3,5 pour 100, remorquer 25 à 30 t environ avec des vitesses de 6 à 10 km : h.

La traction électrique n'a été appliquée à ces chemins de fer à pose rapide que dans les mines. Il faut, dans ce cas, employer deux fils de trolley, ou éclisser les rails pour permettre le retour du courant, la tension à employer est celle de 500 v, qu'on pourrait porter à 1 200 v avec certaines précautions.

La locomotive électrique dite *de mine* est toute désignée pour le service de la voie de 0,60 m à pose rapide; cette locomotive est généralement à deux essieux, commandés chacun par un moteur électrique avec une simple réduction d'engrenages. En appliquant la traction à unités multiples à ces machines, on peut grouper deux ou trois machines de façon à constituer un ensemble à 4 ou 6 essieux moteurs. En montant sur chaque essieu un moteur de 40 ch, 600 v, facilement réalisable pour voie de 0,60 m, on peut réaliser, en comptant une charge de 3,5 t par essieu et un coefficient d'adhérence de 1/5, un effort de traction à la jante de 700 kg à la vitesse de 15 km : h.

Deux locomotives électriques à 2 essieux moteurs (type 0-4-0), possédant chacune les caractéristiques suivantes :

Poids total	7 t
Poids adhérent	7 t
Diamètre des roues	800 mm.
Empattement rigide	1 120 mm
Effort de traction	1 400 kg
Vitesse	15 km : h

peuvent, en double traction, à la vitesse de 15 km : h, remorquer 60 t sur rampe de 3,5 pour 100 et 50 t sur rampe de 4 pour 100.

(1) Il est bon de faire une remarque sur cette notation.

Le premier chiffre indique le nombre de roues porteuses à l'avant de la locomotive, le chiffre du milieu, le nombre de roues motrices, le dernier chiffre le nombre de roues porteuses à l'arrière de la locomotive. Quand, dans une formule de ce genre, on trouve un signe +, cela exprime que la locomotive est à plusieurs trucks, du type Mallet ou autre. En Europe, on n'a pas encore construit de locomotives à plus de deux trucks moteurs ; il n'en est pas de même aux Etats-Unis où il existe des locomotives à vapeur à trois trucks moteurs (1 — D + D + D — 2) et où il y a eu projet des locomotives (1 — D + D + D + D — 1). Dans cette dernière notation qui est employée en Suisse, en Italie et en Allemagne, les chiffres représentent le nombre d'essieux porteurs, et les lettres le nombre d'essieux moteurs : A veut dire un essieu moteur, B désigne deux essieux moteurs, C trois essieux moteurs, D quatre essieux moteurs, etc.

Généralement le chiffre 1 indique un essieu porteur ordinaire, ou bissel, le chiffre 2 un bogie à deux essieux dont les deux essieux sont porteurs ; nous donnons cette précision à cause du bogie Zara, employé surtout en Italie et parfois en France et qui se compose d'un essieu porteur et d'un des essieux moteurs couplés, ce dernier n'ayant bien entendu qu'un déplacement latéral ; la notation est la même que si le bogie Zara n'existait pas et était remplacé par un essieu porteur ou bissel. Une locomotive « Consolidation » à 4 essieux moteurs couplés et essieu porteur formant bogie Zara avec le premier essieu couplé a pour notation 1 — D comme une locomotive du même type à 4 essieux moteurs et bissel à l'avant. En France, on emploie ordinairement une notation un peu différente, à trois chiffres, le premier indique le nombre d'essieux porteurs avant, le second le nombre d'essieux couplés, le troisième le nombre d'essieux porteurs arrière.

Les trois chiffres sont séparés par le signe — ; les chemins de fer de l'Etat français suppriment le signe — et désignent les locomotives-tenders par 2 chiffres seulement, le premier indique le nombre d'essieux moteurs couplés, le deuxième le nombre total d'essieux porteurs ; cette dernière notation peut prêter à confusion pour les locomotives-tenders ; en effet une locomotive-tender « Ten-Wheel » à 3 essieux couplés et à bogie avant aura la même notation, qu'une locomotive « Prairie » à bissel avant 3 essieux couplés et bissel arrière ; les deux machines seront désignées par le nombre 32.

Le nombre qui suit et est séparé par le signe — du nombre indiquant le type de la machine, est le numéro de la locomotive.

Pour résumer, une locomotive « Pacific » à bogie avant 3 essieux couplés, et essieu porteur arrière, et à tender sera désignée par les notations suivantes :

4 — 6 — 2 (notation de M. Esbran) ;
2 — C — 1 (notation suisse) ;
2 — 3 — 1 (notation française ordinaire) ;
231 — (notation des chemins de fer de l'Etat français).

H. C.

Digitized by Google

On pourrait aisément quadrupler la capacité de transport des chemins de fer à voie de 0,60 m et à pose rapide en y appliquant la traction électrique, à la condition d'avoir un nombre d'essieux moteurs suffisant, ce qui est toujours possible, un équipement électrique convenable de la voie et une station centrale de puissance appropriée.

Chemin de fer à voie de 0,60 m. — Pour qu'un chemin de fer à voie de 0,60 m présente un caractère permanent, il faut que ses conditions d'établissement suivent les principes généralement admis pour les voies de 1,44 m et de 1 m. Le chemin de fer de Pithiviers à Toury, d'une longueur de 31,3 km, est établi avec voie de 0,60 m; il a présenté certaines difficultés d'exploitation qui ont été exposées dans la presse technique.

Les caractéristiques qui semblent les plus favorables pour l'établissement d'un chemin de fer à voie de 0,60 m peuvent être fixées comme il suit:

Le poids du rail par mètre courant ne doit pas être inférieur à 15 kg par mètre courant; 17 kg par mètre semble être une valeur recommandable qui permet d'admettre une charge de 7000 kg par essieu, le nombre de traverses et l'infrastructure doivent être déterminés en conséquence.

Les nouveaux cahiers des charges français adoptent les dimensions données par la figure 1 pour la plate-

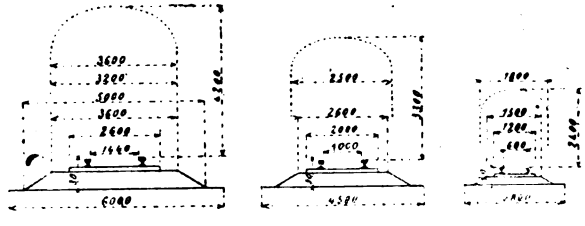


Fig. 1. — Dimensions transversales de la plate-forme et du gabarit pour chemins de fer à voie de 1,44 m, 1 m et 0,60 m.

forme et le gabarit des trois écartements de 1,44 m, 1 m et 0,60 m prévus pour les différents chemins de fer français.

Les déclivités peuvent atteindre 50 mm : m, mais il serait raisonnable de ne pas dépasser 40 mm : m dans le cas de la traction à vapeur. Le rayon minimum des courbes doit être de 40 m, il permet un empattement rigide de 2,50 m.

La voie doit être établie assez solidement pour permettre des vitesses acceptables surtout pour le service de voyageurs, le tableau suivant donne les vitesses admises en fonction de l'écartement et du poids du rail pour les trois écartements adoptés en France.

Ecartement en mm.....	1 440	1 000	600
Poids du rail par mètre en kg.	42	27	17
Vitesse maximum absolue en km : h.....	140	100	60
Vitesse maximum en service, alignement droit, en km : h...	120	80	45

Les rayons des courbes influent sur ces vitesses, comme le montre la figure 2. Dans ce graphique, les valeurs des vitesses correspondant à des rayons donnés sont un peu faibles, par exemple sur certaines lignes à

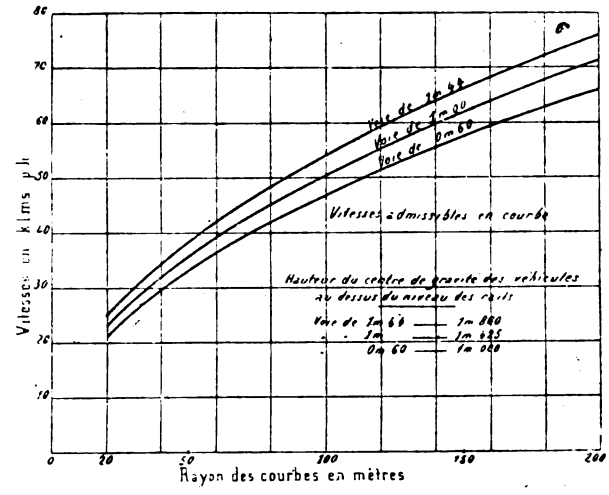


Fig. 2. — Vitesses en km : h en fonction du rayon des courbes en mètres, pour voies de 1,44 m, 1 m, et 0,60 m.

écartement de 1 m, la vitesse dans les courbes de 100 m de rayon est de 65 km : h au lieu de 50 km : h comme l'indique le graphique.

La vitesse de 30 km : h qui peut être atteinte avec la voie de 0,60 m dans les courbes de 40 m de rayon (rayon minimum) permet d'obtenir facilement une vitesse commerciale de 25 km : h, très acceptable pour un chemin de fer secondaire. Cependant il est difficile d'établir des locomotives à vapeur à voie de 0,60 m assez puissantes pour réaliser un telle vitesse commerciale sur des profils un peu accidentés, mais avec la traction électrique la chose est très facilement réalisable. Le matériel roulant pour voie de 0,60 m a généralement les caractéristiques suivantes:

Wagons à 2 essieux.

	Wagon découvert	Wagon couvert pour bestiaux
	—	—
Longueur en mètres.....	5	5
Tare en tonnes.....	3, 25	4, 50
Charge utile en tonnes...	5	8

Wagons à bogies.

	Wagon découvert
	—
Longueur en mètres.....	7
Tare en tonnes.....	5
Charge utile en tonnes.....	11

Les Mines de Burin dans l'Inde utilisent des wagons en acier à déchargement automatique qui ont les caractéristiques suivantes:

Longueur en mètres.....	7, 50
Largeur en mètres.	1, 80
Tare en tonnes.....	6
Charge utile en tonnes.....	20

Digitized by Google

On a reproché à la voie de 0,60 m de manquer de confort pour les voyageurs ; si la voie est bien posée et bien ballastée, et si le matériel roulant est à bogies, on obtient des conditions de transport des voyageurs très satisfaisantes.

Locomotives à vapeur pour voie de 0,60 m. — Si on laisse de côté les locomotives articulées, une locomotive pour voie de 0,60 m et rayon de 40 m ne peut avoir plus de trois essieux couplés et est généralement d'un des trois types suivants.

0 — 6 — 0, 0 — 6 — 2, 4 — 6 — 2.

Différents types de locomotives articulées ont été employés pour la voie de 0,60 m, en particulier les locomotives Mallet et les locomotives Garrat. Ces dernières locomotives sont assez employées sur les voies étroites, elles sont constituées par deux bogies moteurs portant directement les réservoirs à eau et les soutes à charbon ; ils sont reliés par un châssis rigide supportant la chaudière qui repose sur eux par l'intermédiaire de pivots placés à l'arrière des bogies moteurs. Cette disposition permet d'avoir une chaudière suffisamment puissante et une inscription très facile en courbe.

La locomotive articulée du type Mallet a une résistance propre par tonne beaucoup plus grande que celle des locomotives ordinaires même à quatre essieux couplés ; cependant, elle seule permet d'obtenir des puissances suffisantes pour assurer un trafic acceptable sur la voie de 0,60 m. Une machine Mallet (0 — 6 + 6 — 0), d'un poids total de 42 t, chargée à 7 t par essieu, paraît être la machine la plus puissante et la mieux adaptée au service de la voie de 0,60 m.

Le tableau suivant donne les caractéristiques principales de locomotives à voie de 0,60 m actuellement en service tant en Europe que dans les autres parties du monde.

Type de la locomotive	0—6—2	0—6—0	4—6—2	0—4—0+0—4—0 (Type Garrat)	0—4—0+0—4—0 (Type Garrat)
Écartement de la voie en mm	600	610	610	610	610
Diamètre des cylindres en mm	273	280	292	279	279
Course des pistons en mm	381	407	381	355	432
Diamètre des roues motrices en mm	711	840	762	660	800
Diamètre des roues porteuses en mm	457	»	457	»	»
Empattement rigide en mm	1 676	»	1 752	990	1 220
» total en mm	3 460	»	5 100	7 410	8 150
Capacité des réservoirs en m³	1,54	1,8	3,4	3,8	3,8
Capacité des soutes en kg	»	»	»	1 000	1 000
Surface de chauffe totale en m²	35,4	37,8	58,7	62	58,4
Surface de grille en m²	0,58	0,62	1,02	1,62	1,37
Poids de la machine en ordre de marche en kg	18 800	19 000	25 654	28 000	33 500
Poids de la machine à vide en kg	14 220	»	»	21 500	32 500
Pression de la chaudière en kg	11,2	11,2	11,7	11,2	13,7
Constructeur	Hunslet Eng. Co	Kerr Stuart	Hunslet Eng. Co	Garrat	Garrat
Poids en ordre de marche par m² de surface de chauffe en kg	531	502	437	451	573

La consommation de vapeur de ces machines est d'environ 14 kg de vapeur par cheval effectif aux jantes, la puissance est d'environ 7 ch par tonne de poids total. Une locomotive type 4-6-2 de 32 t de poids total pourra donner environ une puissance de 225 ch.

En rampes les poids remorqués et les vitesses réalisées correspondantes seront environ celles données dans le tableau suivant :

Type de la locomotive	0—6—0	0—6—0+0—6—0	4—6—2
Poids total de la locomotive en tonnes	21	42	32
Résistance au roulement de la locomotive en kg par tonne	12	24	12
Résistance au roulement de la charge remorquée en kg par tonne	7	7	7
Charge remorquée sur rampe de 4 pour 100 en tonnes	66	121	57
Vitesse correspondante en km : h	10	10	15
Charge remorquée sur rampe de 5 pour 100 en tonnes	51	93	39
Vitesse correspondante en km : h	10	10	15

Ce qui précède montre clairement que la capacité de transport des chemins de fer à vapeur à voie de 0,60 m est très faible et limitée par le nombre d'essieux moteurs dont on dispose ; d'autre part, les vitesses réalisées sont insuffisantes surtout en rampe, si l'on veut que la charge remorquée soit compatible avec des conditions économiques d'exploitation.

La traction électrique sur la voie de 0,60 m. — La traction électrique permet, grâce au système à unités multiples, d'avoir autant d'essieux moteurs qu'on le désire, de répartir uniformément la charge entre eux et de maintenir constant le rendement de l'ensemble quel que soit le nombre d'essieux. En particulier, avec la voie de 0,60 m, on peut construire des moteurs élec-

Digitized by Google

triques qui pour un poids de locomotive donné fournissent une puissance beaucoup plus considérable que les locomotives à vapeur. Les vitesses que l'on peut obtenir atteignent la valeur maximum compatible avec l'établissement de la voie. En résumé, la traction électrique permettra l'utilisation complète des chemins de fer à voie de 0,60 m.

Le système de traction le plus indiqué pour les chemins de fer à voie de 0,60 m est le système à courant continu 750 à 1 500 v avec retour du courant par les rails.

L'entraînement des essieux peut se faire soit par moteurs à simple réduction d'engrenages montés entre les roues, soit par moteurs placés sur le châssis et attaquant les essieux par l'intermédiaire d'engrenages, faux essieux et bielles ; cette deuxième disposition (fig. 3)

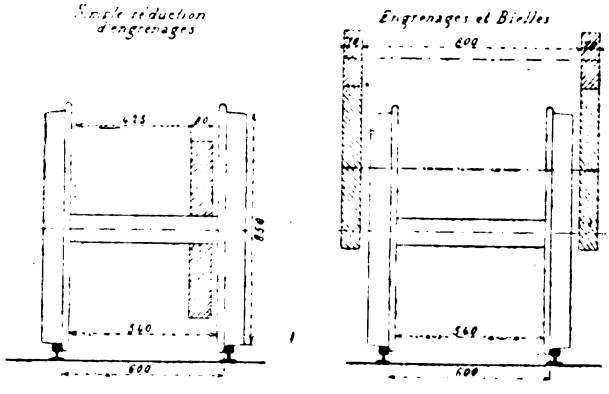


Fig. 3. — Largeur disponible pour placer les moteurs sur une locomotive à voie de 0,60 m, dans le cas de la transmission par simple réduction d'engrenages et dans le cas de la transmission par engrenages, faux essieux et bielles.

permet, pour un même poids, d'avoir une puissance beaucoup plus considérable que la première qui n'est pas avantageuse pour les faibles écartements, le rapport de la longueur de fer de l'induit à la distance disponible entre bandages décroissant très vite avec cette dernière distance.

Actuellement, l'industrie électrique ne peut pas livrer des moteurs à courant continu à 750 v de plus de 75 ch (puissance unihoraire) pour être placés entre des roues de 840 mm de diamètre d'une locomotive à voie de 0,60 m. On pourrait cependant établir avec ces moteurs des locomotives à quatre essieux moteurs répartis en deux bogies d'une puissance unihoraire de 300 ch, d'une vitesse de 20 km-h et d'un poids de 20 à 22 t. Une telle machine pourrait s'inscrire facilement dans des courbes de 20 m de rayon et être alimentée sous 1 500 v, les moteurs étant connectés par paire en série.

En attaquant les essieux par bielles, faux essieux et engrenages, on peut réaliser une locomotive à trois essieux couplés d'un poids total de 21 t donnant un effort de 1 200 kg à la jante à une vitesse de 20 km : h. La figure 4 représente une telle locomotive équipée avec deux moteurs de 150 ch.

La résistance kilométrique d'un circuit formé d'un fil de trolley de 50 mm² de section et des deux rails de 17 kg éclissés et connectés en parallèle est d'environ. 0,39 ohm. Une ligne de 15 km de longueur ainsi équipée, et utilisant des locomotives de 300 ch pourrait être alimentée sous 1 500 v en un seul point ; en alimentant en deux points, la longueur de la ligne pourrait

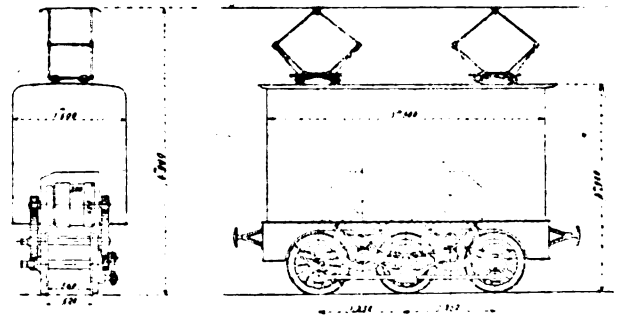


Fig. 4. — Projet de locomotive à voie de 0,60 m, à courant continu, trois essieux couplés.

atteindre 40 km. Avec une alimentation à 3 000 v un seul point d'alimentation suffirait pour une ligne de 50 km.

Le tableau ci-dessous compare rapidement le service que peuvent effectuer des locomotives électriques et des locomotives à vapeur pour voie de 0,60 m.

Type de la locomotive	Electrique	Electrique	Vapeur (2-6-2)
Poids total de la locomotive en tonnes	21	42	32
Résistance au roulement par tonne :			
Locomotive en kg	9	9	12
Charge remorquée en kg	7	7	7
Charge remorquée sur rampe de 4 pour 100 en tonnes	67	134	57
Vitesse correspondante en km : h	20	20	15
Charge remorquée sur rampe de 5 pour 100 en tonnes	52	104	39
Vitesse correspondante en km : h	20	20	15

En couplant en triple traction trois locomotives de 21 t, on pourrait remorquer facilement des trains de 100 t sur des rampes de 4 pour 100.

On voit donc, par ce qui précède, qu'une voie de 0,60 m équipée électriquement pourrait faire face à un trafic extrêmement intense absolument impossible à réaliser avec la traction à vapeur.

Conclusions. — Quand on a une ligne de chemins de fer à construire, on se trouve en présence de deux conditions contradictoires :

D'un côté, il faut réduire autant que possible le capital à engager et, de l'autre, prévoir la ligne de façon à pouvoir faire face non seulement au trafic actuel, mais au trafic futur. Dans l'établissement d'un chemin de fer d'intérêt local, on adopte rarement la voie large, à cause des dépenses considérables qu'elle entraîne, à

Digitized by Google

moins qu'on soit forcé d'envisager la possibilité de faire rouler le matériel des chemins de fer d'intérêt général sur les voies de la ligne d'intérêt local.

Dans le cas contraire, les considérations financières entraîneront l'adoption de la voie de 1 m. Primitivement on avait envisagé l'utilisation de la voie de 0,60 m, mais les difficultés rencontrées dans l'exploitation avec la traction à vapeur avaient fait abandonner cet écartement Comme nous l'avons vu plus haut la majorité des inconvénients de la voie de 0,60 m tombent lorsqu'on utilise la traction électrique.

Cependant une objection se présente immédiatement à l'encontre de la traction électrique, la nécessité d'avoir une station génératrice et d'équiper la voie augmente les frais de premier établissement de la voie. Tant que le service de la voie de 0,60 m peut être assuré par la traction à vapeur avec de bonnes conditions de vitesse, l'emploi de l'électricité n'est pas à recommander.

Ce qu'il faut comparer, c'est le chemin de fer économique à voie de 1 m, à traction à vapeur (rampe maximum 4 pour 100, rayon minimum des courbes environ 75 m), avec le chemin de fer électrique à voie de 0,60 m (rampe maximum 5 pour 100, rayon minimum des courbes 40 m), ces deux systèmes ayant sensiblement la même capacité de transport.

Tant que la voie peut être établie sur route en accotement ou avec des travaux d'infrastructure de peu d'importance, la différence entre le prix d'établissement d'une voie de 1 m et d'une voie de 0,60 m est faible. Mais on tend de plus en plus à établir les voies ferrées d'intérêt local sur plate-forme, la présence d'un chemin de fer sur une route gêne l'usage de cette route, impose des limitations de vitesses aux trains du chemin de fer et empêche, par suite, une bonne exploitation de celui-ci. La différence d'écartement entraîne alors une différence de prix considérable, car, plus l'écartement est faible, plus les rayons des courbes sont faibles, plus les déclivités peuvent être accentuées, circonstances qui diminuent considérablement la longueur de la voie et la nécessité d'avoir recours à des ouvrages d'art.

Avant la guerre, le chemin de fer à voie de 1 m à traction à vapeur établi sur plate-forme séparée, avec profil facile, coûtait de 75 000 à 100 000 fr le kilomètre ; avec des profils difficiles ces prix peuvent être triples.

Le chemin de fer à voie de 0,61 m établi dans l'Inde dans des conditions difficiles par la Darjeeling Himalayan Railway présente les caractéristiques suivantes :

Longueur en km.....	81
Pente maximum en pour 100.....	4,3
Rayon minimum des courbes en m.	17,3
Poids maximum par essieu en kg..	7 000

La ligne est exploitée à la vapeur; elle réunit Siliguri (altitude 120 m) à Darjeeling (altitude 2 250 m); les 11 premiers kilomètres sont sensiblement en palier. Les dépenses de premier établissement ont été de 50 000 fr par kilomètre.

Le capital supplémentaire, nécessaire pour équiper électriquement une voie de 0,60 m, peut être évalué à 15 000 fr par kilomètre avec les prix d'avant-guerre; il n'influe donc pas sensiblement sur la différence de prix d'établissement entre la voie de 1 m et la voie de 0,60 m.

Le chemin de fer électrique à voie de 0,60 m est donc généralement plus économique à installer que le chemin de fer à vapeur à voie de 1 m. De plus, sa capacité de transport est très élevée, les vitesses commerciales réalisées peuvent être du même ordre que celles des chemins de fer secondaires. Ce système peut donc rendre des services très importants aux régions qu'il traverse.

H. C.

Notes pratiques

Comment on travaille l'aluminium.

Dans le numéro du 5 avril nous avons déjà donné quelques indications sur le travail de l'aluminium. Voici ce qui concerne les traitements thermiques.

Recuit et écrouissage. — L'aluminium peut être livré en métal : *recuit* (c'est-à-dire mou), *écroui* (c'est-à-dire dur), *trois quarts dur*, *demi-dur*. Il peut arriver que l'on ait besoin de recuire du métal qui a été livré écroui ou réciproquement. Voici comment il faut procéder :

1° Recuire le métal. — S'il s'agit d'une petite pièce, il suffit de la chauffer uniformément et doucement avec une source de chaleur quelconque, lampe de plombier, bec de gaz, etc., jusqu'à la température du bois fumant, température qu'on repère facilement en frottant sur la pièce un morceau de bois blanc bien sec (un bout d'allumette par exemple), jusqu'à ce qu'il noircisse et fume. Cette température atteinte, il n'y a plus qu'à laisser refroidir doucement la pièce.

S'il s'agit d'une pièce de grande dimension, par exemple une grande barre plate qu'on a besoin de couder, on peut chauffer l'endroit qui doit être recuit sur une petite forge portative, en ayant soin de bien repérer la température de recuit ; on peut, dans ce cas, mettre sur la pièce de la sciure de bois, et chauffer jusqu'à ce que celle-ci commence à fumer (ne pas confondre la fumée avec les vapeurs d'eau qui se dégagent tout d'abord).

2° Durcir de l'aluminium recuit. — Il faut marteler le métal à l'endroit où il doit être durci, ou bien, si la chose est possible, lui faire donner quelques passes de laminage ou tréfilage.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Revues, analyses et informations

La production du pétrole en France.

Dans « L'Industrie chimique » de mars 1919, M. Emile Chauvin, professeur d'Economie politique à la Faculté de Droit d'Alger, publie un intéressant article intitulé « La politique du pétrole » où il étudie successivement le « problème de la production » et les « conditions juridiques de la production du pétrole en France ».

Sur le second point nous nous bornerons à signaler que l'auteur estime nécessaires des modifications profondes à notre législation si l'on veut tirer parti des ressources pétrolifères de la métropole et de nos colonies, particulièrement de l'Algérie, et qu'il ne croit pas que le projet de loi spécial aux pétroles élaboré en juillet 1918 par le Comité consultatif des Mines donne satisfaction. Par contre, nous croyons devoir reproduire les extraits ci-dessous de la première partie de l'étude où M. Chauvin montre, en s'appuyant sur les résultats d'une statistique dressée en 1917 par le Ministère du Commerce (1), que nos ressources en pétrole ne sont pas négligeables et que nous pouvons en outre tirer une notable quantité de combustibles liquides par la distillation des schistes bitumineux. Voici ces extraits :

Le pétrole en France. — Le travail publié par le Ministère du Commerce, important et remarquable, étudie d'abord les hydro-carbures en France (pétrole et gaz).

Il énumère les régions où ont été rencontrés les indices pétrolifères : ce sont l'*Hérault*, où le pétrole a été exploité au XVIIe siècle à Gabian ; les *Basses-Pyrénées* à Saint-Boës ; les *Landes* à Bastennes ; l'*Ardèche* à Privas ; le *Gard* à Anduze, Auzon, Servas (bitumes), Saint-Jean (calcaires imprégnés) ; l'*Ain* au nord de Bellegarde et à Seyssel ; la *Haute-Loire* à Saint-Martin de Fugères, Soguès, Avits ; l'*Isère* à Pont du Chéruy, Val de Chavagnière ; le *Jura* à Val de Travers, [asphalte exploité depuis 1812] ; la *Haute-Savoie* à Mussiège, Frangy, Lovagny ; l'*Alsace* à Pechelbronn, connu dès 1740, fournissant avant la guerre 40 000 t de pétrole brut par an et, en 1915, 43 000 t d'essence et de pétrole (2), et surtout la *région d'Auvergne* : Macholles, Cellules Luchat, Pont du Château, Puy de la Poix (3) (bitumes suintants et sables imprégnés).

En outre, des gaz naturels combustibles, qui accompagnent fréquemment les pétroles, ont été rencontrés en *Auvergne* et dans l'*Ain*, notamment à Vaux en Bugey où un gaz, contenant 90,40 pour 100 de méthane, s'échappe librement dans l'atmosphère depuis 1906 en très grande abondance.

(1) Ministère du Commerce, services techniques ; Ressources nationales en carburants, in-4°, 61 p., 1917, Paris, Martinet, 7, rue Saint-Benoit.

(2) Rapport Bordas et Hildt sur les gisements de pétrole d'Alsace, mission du 19 décembre 1918. Vente totale en 1918, 42958 t, dont Pechelbronn : essence, 2939 ; pétrole, 8680, etc. — En 1917, vente totale, 37 312 t.

(3) Voir *La Nature*, 7 janvier 1893, « Le Pétrole en Auvergne ».

Le rapport conclut à la probabilité de la présence du pétrole dans les régions citées, à l'opportunité de sa recherche et à la nécessité de recueillir sans plus tarder les gaz naturels.

Le pétrole dans les colonies françaises. — *Algérie*. — Le document analysé, résumant un rapport de la mission Neuburger de 1901 et un autre, de 1917, du service des mines algériennes, signale l'existence de trois zones pétrolifères dans le département d'Oran, savoir :

1° Le *Dahra* où les puits d'Aïn-Zeft ont donné des résultats intéressants depuis 1903 ;

2° La région de *Tiliouanet* (au sud de Relizane) où un puits foré en 1914 par la société The Algerian a donné 3 m³ par jour de pétrole jaillissant, où un autre puits, foré le 20 juillet 1916, fournit actuellement 5 à 6 t par jour, et où un troisième puits donne 8 à 10 t par jour depuis le 15 mai 1917 (1).

3° La région de *Bel-Hacel* où aucun résultat positif n'a encore été obtenu, mais où les recherches géologiques rendent vraisemblable l'existence des champs d'huile et où une dizaine de permis de recherches ont été récemment accordés par l'autorité préfectorale (l. c. p. 34).

En outre, l'enquête sur les pétroles algériens faite en 1901 par M. Neuburger a relevé des indices de pétrole dans quatre régions du département de Constantine et en Tunisie vers Teboursouk (2).

Enfin le rapport des services techniques sur nos ressources nationales en carburants note que les raffineries de Frontignan recevaient en 1917 environ 200 t par mois de pétrole algérien, en provenance de trois puits seulement, soit 2 400 t par an et ce document envisage le forage de 300 puits semblables qui assureraient chaque année à la France au moins 250 000 tonnes d'huile (3).

Maroc. — Au Maroc des sources pétrolifères amenant le bitume à la surface du sol ont été signalées depuis fort longtemps sur une ligne droite allant de Larache à Fez : En 1912, le pétrole brut a été trouvé à *Oued-Mellah* ; en 1917, la Société algéro-marocaine de forages a entrepris une étude d'ensemble (mission Gentil) à la suite de laquelle elle a affirmé la présence du pétrole dans la région dont il s'agit.

Madagascar. — A Madagascar des recherches ont été poursuivies depuis 1915 dans la vallée de la *Belsiriry* par deux sociétés anglaises ;

Indo-Chine. — En Indo-Chine des missions géologiques ont signalé la présence du pétrole, depuis longtemps déjà, dans des terrains analogues aux champs pétrolifères de Chine, du Japon et des îles Bornéo et Sumatra (4).

(1) Rapport cité p. 35.

(2) L. c., p. 32.

(3) Au rendement de 2 m³ par jour, alors que le rendement moyen de Roumanie est de 4 m³.

(4) Rapport cité p. 37.

Digitized by Google

Schistes bitumineux, asphaltes et bitumes. — Une deuxième source nationale de carburants peut et doit être cherchée dans la distillation des schistes bitumineux et des bitumes et asphaltes.

Les gisements de *schistes* sont très nombreux en France mais ont été jusqu'ici rarement exploités : on cite 24 concessions abandonnées représentant 6000 hectares.

Et pourtant l'exploitation restreinte actuelle donnait en 1906 : 150000 t de minerais rendant 10000 t d'huile brute. Elle pourrait être portée sans peine à un million de tonnes par an et maintenue à ce niveau pendant cent ans. Ce million de tonnes pourrait fournir 1 million d'hectolitres d'huile et par elles 500000 à 600000 hectolitres d'essence (1).

Les bitumes et asphaltes fournissent également à la distillation des huiles (40 litres par 600 kg) contenant des naphtes très légers. L'extraction française n'a été que de 28000 t en 1913 : elle pourrait être considérablement augmentée.

Ces chiffres sont fournis par le Ministre du Commerce (2). Il est possible qu'ils soient très exagérés.

Cependant, il ne faut pas oublier que lord Curzon a déclaré, le 21 novembre 1910, que la production nationale anglaise a été portée, au cours de la guerre, de 12 000 à 50000 t par mois, principalement *en stimulant la production de l'huile de schiste écossaise*, en même temps qu'en « accroissant la quantité des produits de distillation de la houille », et que Henri Bérenger a considéré comme *capitale*, la journée vécue par lui à Broxburne et à Pumpherston, dans la région d'exploitation de schistes anglais au milieu « des cornues et des fourneaux qui transforment le caillou noir du schiste en essences claires et en blanches paraffines » ; et cet exemple nous permet de penser — jusqu'à preuve du contraire — que les évaluations officielles de nos services techniques ne sont peut-être pas démesurément optimistes (3).

S'il en est ainsi, il faut conclure sans hésiter que la production française des pétroles et essences peut, au point de vue technique, devenir importante :

1° Parce que les pétroles algériens, marocains, ceux de Madagascar et de l'Indo-Chine fourniront un appoint impossible à *chiffrer*, mais dont la réalité semble officiellement certaine. Les 3 000 t annuelles algériennes provisoires pouvant, par exemple, devenir 300 000 ;

2° Parce que la production des schistes bitumineux y ajoutera, si on le veut, un million de tonnes d'huile, portant ainsi la production nationale aux environs d'un million et demi de tonnes.

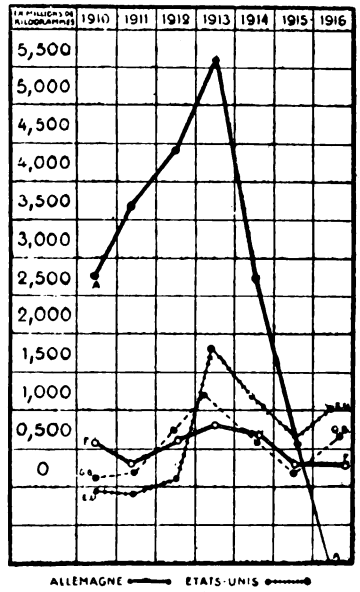
Mais actuellement, il faut reconnaître que la production française est pratiquement négligeable puisqu'elle se réduit, en 1917, à 10 000 t d'huile de schistes et à 3 000 t de pétrole algérien.

(1) En général, une tonne de schiste fournit 3,6 kg d'essence, 14 kg de pétrole, 7 kg d'huile, 33 kg de goudron (*l. c*, p. 52).
(2) Ressources nationales en carburants, 1917, p. 53.
(3) En tous cas, si le contraire était vrai, comme le pensent certaines personnes, il est à supposer que le Commissariat général des essences devrait faire sans retard le nécessaire pour démentir les assertions ci-dessus rappelées, expressément formulées dans le document officiel — dernier en date analysé ici.

Les importations de matériel électrique en Espagne.

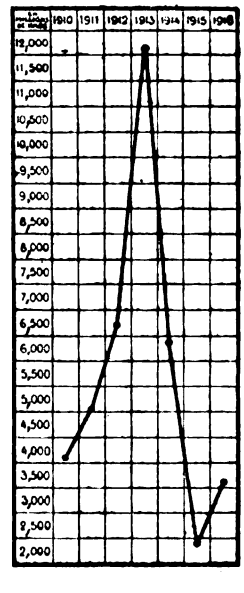
Les tableaux ci-dessous donnent, le premier, le détail des importations de matériel électrique faites en Espagne de 1910 à 1916 par différents pays ; le premier indique les poids, en kilogrammes, du matériel importé ; le second, la valeur en pesetas, des importations. Les figures reproduisent graphiquement les données du premier tableau.

On voit par ces tableaux et graphiques, empruntés à un article de M. Emile Leleu publié par « l'Exportateur Français » du 13 mars, que les importations de matériel électrique se sont rapidement développées de 1910 à 1913, passant de 4 287 t à 12 166 t. et que la majeure partie de ces importations venait d'Allemagne. On voit également que la France qui en 1910 se plaçait avant la Grande-Bretagne et les Etats-Unis comme importatrice, venait en 1916 après ces pays.



Importation par pays en millions de kilog.

Fig. 1.



Importation générale en millions de kilog.

Fig. 2.

I. — *Poids en kilogrammes du matériel électrique importé en Espagne.*

	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916
Allemagne	2 858 817	3 723 817	4 413 216	5 674 557	2 780 465	526 986	1 373
Etats-Unis	34 930	14 776	200 063	1 858 813	1 373 399	534 555	1 137 526
France	541 726	397 224	561 856	827 546	583 173	355 190	393 032
Grande-Bretagne	248 367	298 671	762 009	1 239 607	560 677	292 446	639 549
Hollande	13 379	9 574	15 813	103 456	17 210	33 944	67 254
Italie	5 889	4 457	25 078	28 357	49 773	121 701	143 477
Suède	42 181	40 993	46 298	155 329	188 999	186 354	49 396
Suisse	304 607	396 597	359 300	426 554	148 995	356 267	606 430
Divers	237 816	202 125	468 552	1 851 787	726 913	52 506	575 842
Totaux	4 287 712	5 088 234	6 852 275	12 166 006	6 429 595	2 460 009	3 613 809

Digitized by Google

II. — *Valeurs en pesetas du matériel électrique importé en Espagne.*

	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916
Allemagne	12 554 625	16 315 925	20 445 243	25 326 184	13 424 926	4 116 463	6 739
Etats-Unis	190 824	51 218	653 767	4 504 241	3 949 801	1 403 021	4 656 439
France	1 421 691	1 519 004	3 104 003	4 754 869	2 766 591	2 045 339	2 556 580
Grande-Bretagne	822 193	1 170 858	3 615 374	3 995 716	1 087 111	1 225 954	2 932 405
Hollande	91 630	72 304	114 331	66 629	66 322	369 010	1 624 115
Italie	51 571	53 048	147 307	188 848	222 539	489 659	520 758
Suède	325 381	207 107	256 380	538 015	592 698	1 076 032	237 412
Suisse	851 358	1 185 731	1 044 336	1 756 432	450 535	1 496 830	2 260 288
Divers	4 439 149	3 170 820	3 206 100	6 611 668	5 486 269	1 751 887	4 581 221
Totaux	20 748 422	23 746 115	32 586 841	47 742 602	28 240 794	13 974 195	19 375 958

Assemblées générales

Electro-Entreprise.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE EXTRAORDINAIRE DU 25 MARS 1919.

Les actionnaires anciens et les souscripteurs d'actions nouvelles de la Société l' « Electro-Entreprise » se sont réunis en assemblée générale extraordinaire. Après diverses explications échangées, M. le Président a mis aux voix les résolutions suivantes, ainsi conçues :

Première résolution. — L'Assemblée générale extraordinaire, après vérification, reconnaît la sincérité de la déclaration faite par M. Nouzaret, spécialement délégué par le Conseil d'administration, suivant acte reçu par Me Bazin, notaire à Paris, le 6 mars 1919, de la souscription de 1 400 actions de priorité de 400 fr chacune, représentant l'augmentation du capital de 560 000 fr, votée par l'Assemblée générale extraordinaire du 10 septembre 1918, ratifiée par les deux Assemblées spéciales du même jour de porteurs d'actions privilégiées et de porteurs d'actions ordinaires ; et du versement de la totalité de leurs souscriptions par les nouveaux actionnaires. (Cette résolution est adoptée à l'unanimité.)

Deuxième résolution. — En conséquence de cette augmentation définitivement réalisée, le capital social se trouve porté à 2 000 000 fr, comprenant 5 000 actions de 400 fr chacune.

Par suite, l'article 7 des statuts, paragraphes n° 1 et n° 2, est ainsi modifié :

Le fonds social, primitivement fixé à 1 800 000 fr et divisé en 3600 actions de 500 fr chacune, réduit le 10 septembre 1918 à 1 440 000 fr, divisé en 3 600 actions de 400 fr chacune; est porté à 2 000 000 fr. et divisé en 5 000 actions de 400 fr chacune, dont :

1° 690 actions ordinaires, numérotées de 1 à 690.

2° 2910 actions anciennes de priorité, numérotées de 5 001 à 7 910.

3° 1 400 actions de priorité nouvelles, numérotées de 7 911 à 9 310.

Electricité et Gaz du Nord.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 7 DÉCEMBRE 1919.

L'évacuation des territoires occupés a permis de vérifier l'état des Centrales et réseaux de la Compagnie et des sociétés dans laquelle elle est intéressée.

A Maubeuge (Sous-le-Bois) l'installation des machines ne faisait que commencer au moment de la mobilisation. Les Allemands ont démonté les constructions métalliques et les ont emportées en Allemagne. Seule la salle des chaudières subsiste avec certaines de ses parties avariées.

A Lomme, les actes de pillage et de dévastation sont encore plus caractéristiques. Les turbo-alternateurs avec leurs chaudières ont été enlevés, les fondations ont été détruites par des explosifs ainsi que des parties entières de bâtiments notamment la salle des tableaux. Là aussi, les charpentes et les constructions métalliques ont été expédiées en Allemagne. Les renseignements venus des pouvoirs publics et les recherches personnelles ont permis de connaître les emplacements où ils ont été remontés et le nécessaire sera fait pour les récupérer.

L'usine de Jeumont utilisée par les Allemands n'a pas été détruite. Quelques organes de turbo-alternateurs ont été retrouvés sur des wagons dans la région, et l'usine a pu être remise complètement en état. Actuellement la Centrale est en ordre de marche, mais le réseau souterrain a beaucoup souffert et les réparations sont en cours.

La Compagnie établit officiellement les dommages afin de présenter ses revendications.

L'usine de Jeumont a été exploitée par un séquestre allemand qui a emporté toute la comptabilité se rapportant à sa gestion.

En dehors des Centrales électriques la Compagnie possède les Usines à gaz de Jeumont, Maubeuge, Bavay, Anor et Le Quesnoy. Les réparations à y faire sont très importantes. Au prix de grandes difficultés la direction effective des Usines à gaz de Maubeuge et de Jeumont a pu être conservée par la Compagnie, mais pour les trois autres, le contrôle de l'exploitation n'a pu être fait. Des vérifications commencées établissent que des sommes importantes sont dues par les Municipalités.

Société d'Electricité de la région de Valenciennes-Anzin. — La Centrale électrique a été prise en juillet 1916 par l'armée allemande qui l'a exploitée pendant un certain temps. La comptabilité a été emportée. Des sommes importantes sont également dues par les municipalités. Une partie du matériel de l'usine a été enlevée ainsi que des parties entières des réseaux souterrain et aérien. Au moment de l'évacuation, l'ennemi a fait sauter les chaudières. Des recherches ont été faites et sont continuées pour récupérer le matériel emporté et deux groupes turbo-alternateurs ont

Digitized by Google

été retrouvés en Allemagne. On estime qu'une partie de l'usine pourra être remise en activité au milieu de l'année. En attendant, l'État installe entre l'usine de Jeumont et Valenciennes, une ligne de transport à 45 000 v qui amènera le courant de Jeumont et permettra d'alimenter le pays.

Gaz et électricité du Hainaut. — Les usines ont été mises sous séquestre et exploitées par les Allemands. La Société a repris possession des usines et réclame les sommes importantes qui lui sont dues.

Il n'a pas été possible d'établir encore de comptes définitifs et cette année encore le Conseil a établi une situation active et passive au 30 septembre 1918.

SITUATION ACTIVE ET PASSIVE AU 30 SEPTEMBRE 1918.

Actif.

	fr
Frais de constitution et d'augmentation du capital de la Société	308 978,26
Portefeuille : titres	14 663 149,25
Usines, réseaux et concessions (chiffres du 30 juin 1914)	20 895 428,12
Caisses, banques et débiteurs divers	6 303 844,69
Terrains à Paris	1 580 341,77
Magasins (approvisionnements et sous-produits, stocks du 30 juin 1914)	669 885,16
Comptes d'ordre (titres à libérer)	2 068 062,50
Dépense à ventiler entre les comptes de premier établissement et les comptes d'exploitation	645 464,41
Frais généraux d'Administration et impôts divers :	
Exercice 1913-1914	153 250,26
Exercice 1914-1915	120 807,89
Exercice 1915-1916	85 220,80
Exercice 1916-1917	65 681,91
Exercice 1917-1918	57 844,14
Total	47 617 959,16

Passif.

	fr
Capital 140 000 actions de 250 fr	35 000 000 »
10 000 parts bénéficiaires (mémoire)	
Réserve légale	182 424,93
Prime de souscription afférente à l'augmentation du capital	4 200 000 »
Fonds d'amortissement	1 250 000 »
Créditeurs divers	2 228 127,92
Coupons restant à payer	38 538,59
Bénéfices connus des usines (au 30 juin 1914)	1 176 586,61
Produits du portefeuille et intérêts divers :	
Exercice 1913-1914	765 238,44
Exercice 1914-1915	200 581,10
Exercice 1915-1916	112 836,85
Exercice 1916-1917	172 530,19
Exercice 1917-1918	220 742,20
A reporter	45 547 606,83
Report	45 547 606,83
Compte d'ordre (versements restant à effectuer sur titres)	2 068 062,50
Profits et pertes. — Solde reporté du 30 septembre 1913	2 289,83
Total	47 617 959,16

Compagnie des Tramways de Roubaix et de Tourcoing.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE EXTRAORDINAIRE DU 21 MARS 1919.

Le Conseil rend compte aux actionnaires de l'état des installations et du matériel. Dès la rentrée des troupes victorieuses dans Roubaix et Tourcoing, il avait été envoyé communication sur l'exploitation pendant l'occupation.

Grâce au dévouement de MM. Decarpentrie, Carnay et Dubois qui avaient assumé la direction des services, et au zèle des agents, l'exploitation a fonctionné pendant l'occupation avec 35 motrices et 15 remorques avec une durée moyenne de 12 h au lieu de 19 h en temps normal.

Les Allemands ont fait un usage constant des tramways pour des transports de blessés, d'ouvriers, de matières et de troupes. Sous forme de réquisition la Compagnie a reçu l'ordre d'admettre gratuitement sur ses voitures en service régulier les officiers ou soldats de la garnison. Il a été, au jour le jour, tenu des états de ces services ou réquisitions, et le remboursement sera demandé.

Jusqu'aux derniers jours de l'occupation, le matériel fixe n'a pas trop souffert. L'usine génératrice était restée intacte jusqu'en 1918, mais en janvier les Allemands ont enlevé 6 génératrices à courant continu avec leurs courroies.

Au moment où il a quitté la région, l'ennemi a fait sauter tous les ponts; l'explosion, notamment au pont du Laboureur, a causé des dégâts assez importants au dépôt du Laboureur et aux bureaux voisins.

Les voies de terre et les lignes aériennes sont à rétablir en ces points détruits. Le fil de trolley a été réquisitionné et enlevé sur certaines lignes.

Des passerelles établies par l'armée anglaise ont déjà permis de rétablir en partie les lignes principales.

Quant au matériel roulant, en 1917 les Allemands avaient réquisitionné et enlevé 7 voitures automotrices, 10 remorques et 3 wagons. Le surplus est resté, mais devra être remis en état.

Actuellement 50 pour 100 à peine de l'effectif sera en état de rouler.

Toutes ces pertes et dégâts devront donner lieu à des indemnités et remboursements de la part des Allemands. La Compagnie réunit les éléments utiles à fournir à l'appui de ses réclamations.

A l'heure actuelle, il est impossible de donner des renseignements d'ordre comptable, aussi le Conseil propose de dresser un bilan au 31 juillet 1914 et de considérer la période jusqu au 31 décembre 1918 comme un seul exercice de guerre.

Une Assemblée générale extraordinaire sera convoquée à cet effet.

Digitized by Google

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Jurisprudence.

TRIBUNAL DE SAINT-AMAND-MONTROND, 7 MARS 1918. — COMPAGNIE LE CENTRE ELECTRIQUE CONTRE JACQUET.

Nos lecteurs nous ont prié de les renseigner sur tout ce qui touche la modification des tarifs et les conséquences de ces modifications. Aussi, après avoir donné le texte du jugement du Tribunal de Pontoise, nous donnons sans hésiter celui (d'ailleurs plus complet) du jugement du Tribunal civil de Saint-Amand jugeant commercialement.

En acceptant de signer une police pour la fourniture de l'énergie électrique l'abonné s'engage par là même à exécuter toutes les clauses du traité de concession, même les modifications qui peuvent lui être apportées.

Par suite, si par un avenant régulier la ville augmente le prix de l'énergie, l'abonné qui n'a pas suspendu ou résilié sa police doit payer le relèvement du prix qui résulte de cet avenant.

Le Tribunal civil de Saint-Amand-Montrond (Cher), jugeant commercialement en l'audience publique :

Attendu que la Société « le Centre Electrique », dont le siège social est à Limoges, a obtenu la concession de la fourniture d'éclairage et d'énergie électrique pour la ville de Saint-Amand, aux conditions d'un cahier des charges en date du 25 novembre 1909 ;

Attendu qu'en conformité des clauses de ce cahier des charges et suivant le contrat du 14 septembre 1912, « le Centre Electrique » d'une part et M. Corbin de Mangoux d'autre part, représenté à l'instance par M. Jacquet, se sont obligés :

« Le Centre Electrique » à fournir, à M. Corbin de Mangoux à payer à raison de 0,10 fr le kilowatt-heure l'énergie nécessaire au moulin de Billeron ;

Attendu que le « Centre Electrique » prétendait qu'en raison de la hausse exceptionnelle et impossible à prévoir des charbons depuis le commencement de la guerre, il ne pouvait continuer à fournir l'énergie et l'éclairage au prix de son cahier des charges, a obtenu de la ville de Saint-Amand, suivant avenant en date du 10 avril 1916, l'autorisation d'augmenter ses prix à dater de ce jour à raison de 0,10 fr le kilowatt-heure tant pour les bâtiments communaux et les administrations publiques que pour les particuliers ;

Que la compagnie a informé M. Ravaçon, administrateur des biens de la concession de M. Corbin de Mangoux, de cette modification par lettre du 12 avril 1916 ;

Qu'aucune protestation ne paraît avoir été soulevée et que la fourniture du courant continua comme précédemment ; que cependant à une réclamation du « Centre Electrique » pour paiement des fournitures, Ravaçon ès nom refusa le paiement de la facture, à raison de la majoration dont il est ci-dessus parlé ;

Qu'il s'agit donc de savoir si l'avenant du 10 avril 1916 est obligatoire pour les abonnés ;

Que le tribunal ne peut que constater la situation actuelle du « Centre Electrique » avec la ville de Saint-Amand, en ce qui concerne le prix de la consommation électrique, qu'il n'a pas qualité pour apprécier la légalité de la modification apportée au premier traité par acte administratif régulier ;

Qu'en acceptant de signer une police pour la fourniture de l'énergie électrique, Corbin de Mangoux s'est par là même engagé à exécuter toutes les clauses du traité entre « le Centre Electrique » et la ville de Saint-Amand, même les modifications qui peuvent y être apportées ;

Qu'il lui était loisible, à l'annonce de l'augmentation, de suspendre ou de résilier sa police et qu'en ne le faisant pas il a laissé croire qu'il acceptait les modifications en augmentations souscrites par la ville de Saint-Amand ;

Que c'est donc à juste titre que le « Centre Electrique » réclame le paiement de l'énergie électrique en la majorant en conformité de l'avenant précité qui constitue un acte administratif régulier ;

Par ces motifs :

Le tribunal statuant en matière de commerce par jugement contradictoire rendu en audience publique et en premier ressort, après en avoir délibéré :

Condamne Jacquet ès nom à payer à la Société « le Centre Electrique » la somme de cinq mille cent quatre-vingt-cinq francs soixante-dix centimes avec les intérêts de droit. Le condamne en outre en tous les dépens.

Le texte du jugement se trouve dans la « Revue des Concessions départementales et communales », janvier et juin 1918, p. 134.

Paul BOUGAULT,
Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

Loi relative aux conventions collectives de travail.

Voici le texte de cette loi, en date du 25 mars 1919 et publiée dans le « Journal officiel » du 28 mars, p. 3 181-3 183.

Le Sénat et la Chambre des Députés ont adopté,

Le président de la République promulgue la loi dont la teneur suit :

ARTICLE PREMIER. — Le titre II du Livre 1er du Code du Travail et de la Prévoyance sociale est complété par le chapitre suivant :

CHAPITRE V

DE LA CONVENTION COLLECTIVE DE TRAVAIL.

Section I. — De la nature et de la validité de la convention.

ART. 31. — La convention collective de travail est un contrat relatif aux conditions du travail, conclu entre, d'une part, les représentants d'un syndicat professionnel ou de tout autre groupement d'employés et, d'autre part, les représentants d'un syndicat professionnel ou de tout autre groupement d'employeurs, ou plusieurs employeurs contractant à titre personnel ou même un seul employeur.

Elle détermine les engagements pris par chacune des parties envers l'autre partie et, notamment, certaines conditions auxquelles doivent satisfaire les contrats de travail individuels ou d'équipe que les personnes liées par la con-

Digitized by Google

vention passent, soit entre elles, soit avec des tiers pour le genre de travail qui fait l'objet de ladite convention.

Art. 31 a. — S'il n'y a clause contraire, les personnes liées par la convention collective de travail sont tenues d'observer les conditions de travail convenues dans leurs rapports avec les tiers.

Art. 31 b. — Les représentants d'un syndicat professionnel ou de tout autre groupement peuvent contracter au nom de la collectivité, en vertu :

Soit des stipulations statutaires de ce groupement ;

Soit d'une délibération spéciale de ce groupement ;

Soit des mandats spéciaux et écrits qui leur sont donnés individuellement par tous les adhérents à ce groupement.

A défaut, pour être valable, la convention collective de travail doit être ratifiée par une délibération spéciale de ce groupement.

Les groupements déterminent eux-mêmes leur mode de délibération.

Art. 31 c. — La convention collective de travail doit être écrite, à peine de nullité.

Elle n'est applicable qu'à partir du jour qui suit celui de son dépôt, soit au secrétariat du conseil des prud'hommes du lieu où elle a été passée, soit, à défaut de conseil des prud'hommes, ou, si les parties le stipulent, au greffe de la justice de paix de ce lieu, soit à tout autre secrétariat de conseil des prud'hommes ou greffe de justice de paix convenu par les parties.

Elle peut être déposée au secrétariat du conseil des prud'hommes ou au greffe de la justice de paix de tout lieu où elle doit être appliquée.

Les parties peuvent convenir qu'elle ne sera applicable, dans le ressort d'un conseil des prud'hommes ou d'une justice de paix, que si elle a été déposée au secrétariat de ce conseil ou au greffe de cette justice de paix.

Le ou les dépôts de cette convention ont lieu aux soins de la partie la plus diligente, à frais communs.

Le dépôt, prévu au paragraphe 2 du présent article, doit être considéré comme ayant été effectué lorsque, en vertu des dispositions de la loi du 27 décembre 1892, la convention collective de travail a été dressée par le juge de paix.

Art. 31 d. — Les parties doivent stipuler que la convention collective de travail est valable, soit en tous lieux, soit dans une région déterminée, soit dans une localité ou seulement pour un ou plusieurs établissements spécifiés.

A défaut, elle sera valable dans le ressort du conseil des prud hommes ou de la justice de paix dont le secrétariat ou greffe aura reçu le dépôt de cette convention en vertu du paragraphe 2 de l'article 31 c et elle ne sera valable dans le ressort d'un autre conseil des prud'hommes ou d'une autre justice de paix que si elle a été déposée par les deux parties au secrétariat de ce conseil ou au greffe de cette justice de paix.

Section II. — De la durée et de la résolution de la convention.

Art. 31 e. — La convention collective de travail peut être conclue :

Sans détermination de durée ;

Pour une durée déterminée ;

Pour la durée d'une entreprise déterminée.

Art. 31 f. — La convention collective de travail à durée indéterminée peut toujours cesser par la volonté de l'une des parties, à charge pour cette partie de se dégager dans les formes prévues à l'article 31 m.

Si l'une des parties comprend plusieurs groupements d'employés ou plusieurs employeurs ou groupements d'employeurs, la convention à durée indéterminée n'est résolue que par la renonciation, dans les formes prévues à l'article 31 m, du dernier de ces groupements d'employés ou du dernier de ces employeurs ou groupements d'employeurs.

Art. 31 g. — Lorsque la convention collective de travail est conclue pour une durée déterminée, cette durée ne peut être supérieure à cinq années.

Art. 31 h. — A défaut de stipulation contraire, la convention collective de travail à durée déterminée, qui arrive à expiration, continue à produire ses effets comme une convention à durée indéterminée.

Art. 31 j. — Lorsque la convention collective de travail est conclue pour la durée d'une entreprise, si cette entreprise n'est pas terminée dans une période de cinq années, cette convention est considérée comme conclue pour cette dernière durée.

Section III. — Des adhésions et des renonciations à la convention.

Art. 31 j. — Tout syndicat professionnel ou tout autre groupement d'employés ou d'employeurs, ou tout employeur non groupé qui n'est pas partie à la convention collective de travail, peut y adhérer ultérieurement avec le consentement des parties contractantes.

Cette adhésion n'est valable qu'à partir du jour qui suit celui de sa notification, ainsi que celle du consentement des parties, au secrétariat ou greffe où le dépôt de la convention a été effectué en vertu du paragraphe 2 de l'article 31 c.

Art. 31 k. - Sont considérés comme liés par la convention collective de travail :

1° Les employés et les employeurs signataires de ladite convention ainsi que ceux qui leur ont donné individuellement, par écrit, mandat spécial pour traiter en leur nom ;

2° Ceux qui, au moment où la convention est conclue, sont membres d'un groupement partie à cette convention si, dans un délai de huit jours francs à dater du dépôt prévu au paragraphe 2 ou au paragraphe 4 de l'article 31 c, ils n'ont pas donné leur démission de ce groupement, et s'ils n'ont pas notifié celle-ci, soit au secrétariat ou greffe où le dépôt a été effectué, soit au secrétariat du conseil des prud'hommes ou au greffe de la justice de paix qui aurait à juger les différends relatifs à leurs contrats de travail. Lorsque la convention a pour but de faire cesser une grève ou un lock-out, le délai ci-dessus est réduit à trois jours ;

3° Ceux qui sont membres d'un groupement adhérant ultérieurement à cette convention, si, à dater de la notification de l'adhésion prévue à l'article 31 j, ils ne se sont pas retirés de ce groupement dans les conditions et délais précisés au paragraphe précédent ;

4° Ceux qui, postérieurement au dépôt de la convention, entrent dans un groupement partie à cette convention ;

5° Les employeurs n'appartenant pas à un groupement partie à la convention, qui adhèrent directement à celle-ci, conformément aux dispositions de l'article 31 j.

Art. 31 l. — Lorsque la convention collective de travail est conclue pour une durée déterminée ou pour la durée d'une entreprise déterminée, sont seuls liés pour la durée déterminée ou celle de l'entreprise :

1° Les groupements parties à la convention, soit parce qu'ils ont participé à sa conclusion, soit parce qu'ils ont adhéré ultérieurement à cette convention ;

2° Les employés et les employeurs adhérents à la convention en vertu du 1° de l'article précédent, qui sont nominativement désignés dans la convention ou dont le mandat a été joint ;

3° Les employeurs adhérents à la convention en vertu du 5° de l'article précédent ;

4° Les employés et les employeurs, membres des syndicats professionnels ou de tous autres groupements parties à la convention, qui adhèrent directement pour la durée déterminée ou celle de l'entreprise, en le notifiant, soit au secrétariat ou greffe où le dépôt de cette convention a été effectué, soit au secrétariat du conseil des prud'hommes ou au greffe de la justice de paix qui aurait à juger les différends relatifs à leur contrat de travail.

Toute convention est considérée comme étant à durée indéterminée à l'égard des autres personnes qu'elle lie.

Art. 31 m. — Tout groupement d'employés ou d'employeurs ou tout employeur non groupé, partie à une con-

Digitized by Google

vention collective de travail, conclue ou prorogée par tacite reconduction ou pour une durée indéterminée, peut, à toute époque, se dégager en notifiant sa renonciation à toutes les autres parties, groupements d'employés ou d'employeurs ou employeurs non groupés, avec lesquelles il a conclu et au secrétariat ou greffe où le dépôt de la convention a été effectué en vertu du paragraphe 2 de l'article 31 c.

Cette notification doit être faite un mois à l'avance, sauf stipulation contraire.

Lorsque, en vertu des dispositions de l'article 31 f, la renonciation d'un groupement ne doit pas entraîner la résolution de la convention, les autres parties, dans les dix jours qui suivent la notification qui leur a été faite, peuvent notifier également leur renonciation à cette convention, pour la date notifiée par le premier groupement.

La renonciation d'un groupement entraine de plein droit celle de tous les membres de ce groupement, nonobstant toute convention contraire.

Art. 31 n. — Tout membre d'un groupement d'employés ou d'un groupement d'employeurs partie à une convention collective de travail,

Conclue pour une durée indéterminée,

Prorogée par tacite reconduction pour une durée indéterminée,

Ou considérée comme étant à durée indéterminée à son égard,

Peut, à toute époque, se dégager, à moins qu'il n'ait renoncé à cette faculté pour une durée déterminée, en se retirant de tout groupement partie à la convention et en le notifiant, soit au secrétariat ou greffe où le dépôt a été effectué, soit au secrétariat du conseil des prud'hommes ou au greffe de la justice de paix qui aurait à juger les différends relatifs à son ou à ses contrats de travail.

Cette notification doit être faite un mois à l'avance, nonobstant toute convention contraire.

Lorsque la convention collective de travail est prorogée par tacite reconduction pour une durée déterminée, tout membre d'un groupement restant partie à cette convention peut se dégager dans la huitaine qui suit la prorogation en se conformant aux conditions précisées ci-dessus.

Ces dispositions s'appliquent à toute personne qui, ayant démissionné de son groupement, est restée liée à la convention.

Art. 31 o. — Un employé ou un employeur ne peut renoncer, pour une durée de plus de cinq années, à se dégager d'une convention en cours.

Par une stipulation d'un contrat de travail, un employé ne peut renoncer à se dégager d'une convention en cours pour une durée supérieure à celle pendant laquelle son employeur est lui-même lié par la convention.

Toute renonciation d'un employé ou d'un employeur à se dégager d'une convention en cours n'est valable que si elle est notifiée soit au secrétariat ou greffe où le dépôt de la convention a été effectué, soit au secrétariat du conseil des prud'hommes ou au greffe de la justice de paix qui aurait à juger des différends relatifs à son ou à ses contrats de travail.

Art. 31 p. — Est nulle toute convention par laquelle les employés ou les employeurs renonceraient à la faculté de répudier, dans les formes prévues par les 2° et 3° de l'article 31 k :

Soit une convention collective de travail;

Soit un mandat donné collectivement.

Section IV. — Des effets et des sanctions de la convention.

Art. 31 q. — Lorsqu'un contrat intervient entre un employé et un employeur qui doivent, aux termes de l'article 31 k, être considérés comme soumis l'un et l'autre aux obligations résultant de la convention collective de travail, les règles déterminées en cette convention s'imposent, nonobstant toute stipulation contraire, aux rapports nés de ce contrat de travail.

Art. 31 r. — Lorsqu'une seule des parties au contrat de travail doit être considérée comme liée par les clauses de la convention collective de travail, ces clauses sont présumées s'appliquer aux rapports nés du contrat de travail, à défaut de stipulation contraire.

La partie liée par une convention collective de travail qui l'oblige, même à l'égard des tiers, et qui aurait accepté, à l'égard de ceux-ci, des conditions contraires aux règles déterminées par cette convention, peut être civilement actionnée à raison de l'inexécution des obligations par elle assumées.

Art. 31 s. — Les groupements d'employés ou d'employeurs liés par une convention collective de travail sont tenus de ne rien faire qui soit de nature à en compromettre l'exécution loyale.

Ils ne sont garants de cette exécution que dans la mesure déterminée par la convention.

Art. 31 t. — Les groupements capables d'ester en justice, liés par une convention collective de travail, peuvent, en leur nom propre, intenter une action en dommages-intérêts aux autres groupements parties à la convention, aux membres de ces groupements, à leurs propres membres ou à toutes personnes liées par la convention qui violeraient les engagements contractés.

Art. 31 u. — Les personnes liées par une convention collective de travail peuvent intenter une action en dommages-intérêts aux autres personnes ou aux groupements liés par la convention qui violeraient à leur égard les engagements contractés.

Art. 31 v. — Les groupements capables d'ester en justice qui sont parties à la convention collective de travail peuvent exercer toutes les actions qui naissent de cette convention en faveur de chacun de leurs membres, sans avoir à justifier d'un mandat de l'intéressé, pourvu que celui-ci ait été averti et n'ait pas déclaré s'y opposer. L'intéressé peut toujours intervenir à l'instance engagée par le groupement

Lorsqu'une action née de la convention collective de travail est intentée soit par une personne, soit par un groupement, les autres groupements capables d'ester en justice, dont les membres sont liés par la convention, peuvent toujours intervenir dans l'instance engagée, à raison de l'intérêt collectif que la solution du litige peut présenter pour leurs membres.

Section V. — Dispositions diverses.

Art. 31 x. — Sont valables les dispositions de la convention collective de travail par lesquelles les parties remettent à des arbitres, désignés ou à désigner dans des formes déterminées, le jugement de tout ou partie des litiges que peut faire naître l'exécution de cette convention.

Art. 32. — Toutes les notifications prévues par le présent chapitre sont centralisées au secrétariat ou greffe où a été effectué le dépôt de la convention prescrit par le paragraphe 2 de l'article 31 c.

Il est donné gratuitement communication à toute personne intéressée des conventions collectives de travail et des notifications y relatives.

Des copies certifiées conformes pourront lui en être délivrées à ses frais.

Un décret fixe les émoluments des secrétaires et greffiers, le mode de recouvrement des frais et honoraires, le mode de centralisation des notifications prévu par le premier paragraphe du présent article et le mode de communication des conventions et des notifications.

Art. 2. — Les articles 31 et 32 du livre premier du code du travail et de la prévoyance sociale prendront les numéros 30 *a* et 30 *b*.

Art. 3. — Les dispositions concernant le dépôt de la convention collective de travail et les notifications y relatives ne seront applicables qu'après la promulgation du décret prévu à l'article 32 du livre II du code du travail.

Les conventions en vigueur avant la promulgation de la

Digitized by Google

présente loi resteront applicables, même si le dépôt de ces conventions et les notifications y relatives n'ont pas été effectués.

La présente loi, délibérée et adoptée par le Sénat et par la Chambre des députés, sera exécutée comme loi de l'Etat.

Fait à Paris, le 25 mars 1919,

R. Poincaré.

Par le Président de la République :

Le ministre du Travail et de la Prévoyance sociale,

Colliard.

Le garde des Sceaux, ministre de la Justice,

Louis Nail.

Loi sur les unités de mesure.

La loi sur les unités de mesures dont nous annoncions dans la « R. G. E. » du 29 mars, p. 465, le vote récent par le Sénat, a été publiée dans le « Journal officiel » du 4 avril, p. 3474. Nous donnons ci-dessous le texte de cette loi ainsi que le tableau auquel elle se refère. Comme il est dit dans le texte, un réglement d'administration publique, qui devra être rendu dans un délai de six mois, définira les unités secondaires.

Le Sénat et la Chambre des Députés ont adopté.

Le Président de la République promulgue la loi dont la teneur suit :

Articte premier. — Le tableau des unités de mesure légales annexé à la loi du 4 juillet 1837, et modifié par les lois du 11 juillet 1903 et du 22 juin 1909, est remplacé, sauf en ce qui concerne les monnaies, par le tableau dressé dans les conditions ci-après déterminées.

Art. 2. — Les unités de mesure comprennent des unités secondaires.

Les unités principales sont les unités de longueur, de masse, de temps, de résistance électrique, d'intensité de courant, d'intervalle de température et d'intensité lumineuse, telles qu'elles sont définies dans le tableau annexé à la présente loi.

Les unités secondaires seront énumérées et définies par un réglement d'administration publique rendu après avis de la Commission de Métrologie usuelle, du Comité consultatif des Arts et Manufactures, du Bureau national des Poids et Mesures et de l'Académie des Sciences.

A ce règlement sera annexé un tableau général des unités légales, comprenant les unités principales et les unités secondaires, fixées suivant les prescriptions de la présente loi, ainsi que leurs multiples et sous-multiples usuels.

Ce règlement pourra, en outre, autoriser, à titre provisoire, l'emploi ou la dénomination de certaines unités actuellement en usage.

Des règlements rendus dans la même forme pourront ultérieurement compléter ou modifier la liste des unités secondaires et supprimer celles des anciennes unités maintenues provisoirement en usage par application du paragraphe précédent.

Art. 3. — Les étalons nationaux établis pour représenter les unités secondaires sont déposés au Conservatoire national des Arts et Métiers.

Art. 4. — Les dispositions des articles 3, 4, 5, 6, 7 et 8 de la loi du 4 juillet 1837, sont applicables aux mesures dont les unités sont déterminées conformément à la présente loi.

Art. 5. — La présente loi n'entrera en vigueur qu'à l'expiration du délai d'un an, à compter de la date du réglement d'administration publique visé au paragraphe 3 de l'article 2 ci-dessus, qui devra être rendu dans un délai de six mois après la promulgation de la loi.

Art. 6. — La présente loi est applicable dans les colonies françaises et pays de protectorat.

Art. 7. — Toutes les dispositions contraires à la présente loi seront abrogées à partir de sa mise en vigueur.

La présente loi, délibérée et adoptée par le Sénat et par la Chambre des Députés, sera exécutée comme loi de l'Etat.

Fait à Paris, le 2 avril 1919.

R. Poincaré.

Tableau des étalons et des unités commerciales et industrielles.

Longueur. — L'unité principale de longueur est le mètre.

L'étalon pour les mesures de longueur est le mètre, longueur définie à la température de 0 degré par le prototype international en platine iridié qui a été sanctionné par la Conférence générale des Poids et Mesures, tenue à Paris en 1889 et qui est déposé au pavillon de Breteuil à Sèvres.

L'unité de longueur, de laquelle seront déduites les unités de la mécanique industrielle, est le mètre.

Masse. — L'unité principale de masse est le kilogramme.

L'étalon pour les mesures de masse est le kilogramme, masse du prototype international, en platine iridié qui a été sanctionné par la Conférence générale des Poids et Mesures, tenue à Paris en 1889 et qui est déposé au pavillon de Breteuil à Sèvres.

L'unité de masse, de laquelle seront déduites les unités de mécanique industrielle, est la tonne qui vaut 1000 kilogrammes.

Temps. — L'unité principale de temps est la seconde.

La seconde est la fraction 1/86400 du jour solaire moyen.

L'unité de temps, de laquelle seront déduites les unités de la mécanique industrielle, est la seconde.

Electricité. — Les unités principales électriques sont : l'ohm, unité de résistance, et l'ampère, unité d'intensité de courant conformément aux résolutions de la Conférence des Unités électriques, tenue à Londres en 1908.

L'étalon pour les mesures de résistance est l'ohm international qui est la résistance offerte à un courant électrique invariable par une colonne de mercure à la température de la glace fondante, d'une masse de 14,4521 grammes d'une section constante et d'une longueur de 106,300 centimètres.

L'ampère international est le courant électrique invariable qui, en passant à travers une solution de nitrate d'argent dans l'eau, dépose de l'argent en proportion de 0,00111800 gramme par seconde.

Température. — Les températures sont exprimées en degrés centésimaux.

Le degré centésimal est la variation de température qui produit la centième partie de l'accroissement de pression que subit une masse d'un gaz parfait quand, le volume étant constant, la température passe du point 0° (température de la glace fondante) au point 100° (température d'ébullition de l'eau), tels que ces deux points ont été définis par la Conférence générale des Poids et Mesures de 1889 et par celle de 1913.

Intensité lumineuse. — L'unité principale d'intensité lumineuse est la bougie décimale dont la valeur est le vingtième de l'étalon Violle.

L'étalon pour les mesures d'intensité lumineuse est l'étalon Violle, source lumineuse constituée par une aire égale à celle d'un carré d'un centimètre de côté prise à la surface d'un bain de platine rayonnant normalement à la température de solidification, conformément aux décisions de la Conférence internationale des Electriciens, tenue à Paris en 1884, et du Congrès international des électriciens, tenu à Paris en 1889.

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF : Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. TOME V. — N° 17. 26 AVRIL 1919.

Chronique. — M. Gutton. — Sur le réglage de la vitesse des moteurs d'induction par couplage en cascade. — Légion d'honneur. — Bibliographie : Les Conférences de l'Association française pour l'Avancement des Sciences en 1917-1918, p. 617-618.

Section scientifique et technique. — Le calcul des intensités dans les transformateurs disposés suivant le montage de Scott et ses conséquences au point de vue de la puissance maximum admissible, par E. BATICLE, p. 619. — Théorème de Pleijel, par J.-B. POMEY, p. 622. — La Conférence interalliée des Associations de Chimie, par H. C., p. 623. — Revues, analyses et informations : Recherches sur le fonctionnement chimique de l'accumulateur au plomb, p. 627.

Section industrielle. — La lampe-valve à trois électrodes, par C. GUTTON, p. 629. — Revues, analyses et informations : Augmentation du rendement des ateliers par l'amélioration de l'éclairage, p. 640; Distribution et tarification du courant électrique pour le chauffage, p. 641; Pouvoir réflecteur du tungstène et de la stellite, p. 642; L'industrie du zinc électrolytique en Australie, p. 642.

Section économique et financière. — Revues, analyses et informations : La vie chère et le relèvement des salaires, p. 643. — Assemblées générales : L'Electrique-Lille-Roubaix-Tourcoing, p. 646; Compagnie centrale d'Eclairage par le Gaz, Lebon et Cie, p. 646.

Section de législation. — Législation, jurisprudence, réglementation : Décret portant nomination d'une Commission pour l'attribution d'une médaille d'honneur aux ouvriers et employés pour circonstances résultant de l'état de guerre, p. 647; Arrêté instituant une Conférence interministérielle pour l'étude et la coordination des enseignements, p. 647; Refus de permission de voirie. Arrêt du Conseil d'Etat du 17 mai 1918, p. 648.

M. Gutton. — Nos lecteurs trouveront dans ce numéro une très intéressante étude de M. Gutton sur les lampes-valves à trois électrodes, lampes dont l'importance en télégraphie sans fil n'est plus à discuter.

Nous profitons de l'occasion pour rappeler que notre collaborateur M. Gutton a été le premier titulaire du prix Henri Becquerel décerné par l'Académie des Sciences pour la première fois en 1918. Nous avons été heureux de voir l'Académie reconnaître, par l'attribution de ce prix, l'importance des travaux qui ont fait connaître depuis longtemps le nom de M. Gutton dans le monde des physiciens. M. Gutton a été en effet un des plus brillants élèves de M. Blondlot à l'Université de Nancy et s'est distingué dès le début de sa carrière par une thèse remarquable sur la propagation des ondes hertziennes.

Nous rappellerons en quelques mots les principaux travaux de M. Gutton.

Ses premières études, faites au laboratoire de M. Blondlot, sont des recherches sur les conditions dans lesquelles des ondes électromagnétiques passent d'un conducteur à un autre.

Elles ont été suivies d'expériences sur les écrans électromagnétiques, sur la propagation dans les milieux isolants et dans l'eau, sur la constante diélectrique et la dispersion de la glace.

En se servant de la biréfringence électrique, M. Gutton a pu comparer directement à la vitesse de la lumière, la vitesse de propagation des ondes électriques le long des fils et déterminer la valeur du faible retard dû à la résistivité du fil.

Des mesures du même genre ont permis de soumettre au contrôle de l'expérience les théories de M. Gouy et de Lord Rayleigh sur la propagation de la lumière dans les milieux dispersifs.

M. Gutton, ensuite, a pu montrer que la biréfringence électrique d'un liquide n'était pas instantanée, que sa durée d'établissement était de l'ordre du cent millionième de seconde. Ces faibles intervalles de temps étaient mesurés par le chemin parcouru, durant ce temps, par les ondes électriques.

Pendant la guerre, M. Gutton a rendu d'éminents services à la Défense nationale, tout d'abord sur le front où il a fait partie des troupes combattantes du Génie, puis à l'Etablissement central de la Radiotélégraphie militaire, où, sous la direction du général Ferrié, il a réalisé et mis au point une série d'appareils fort intéressants pour la réception et la génération des signaux de télégraphie sans fil au moyen de lampes-valves à trois électrodes.

Aujourd'hui M. Gutton a repris son enseignement à la Faculté des Sciences et à l'Institut électrotechnique de

Digitized by Google

Nancy où il a parmi ses élèves de nombreux Alsaciens-Lorrains qui sauront sans doute apprécier la haute valeur de son enseignement.

Sur le réglage de la vitesse des moteurs d'induction par couplage en cascade. — Dans le numéro du 12 avril, nous avons publié, p. 538, une lettre de M. J. Bethenod relative à l'article de M. Darrieus paru sous ce titre dans le numéro du 15 février 1919, t. v, p. 257-265. M. Darrieus répond à cette lettre par la suivante :

Je regrette d'avoir donné lieu au reproche que me fait M. Bethenod de ne mentionner aucun des travaux antérieurs de MM. Leblanc, Blondel, Latour, Picou, sur cette question. Ce n'est pas que je ne connaisse les principaux de ces mémoires parus dans « L'Eclairage électrique » ou le « Bulletin de la Société des Electriciens » depuis 1895, mais les conditions dans lesquelles j'ai dû rédiger mon étude, en avril 1918, sur le front, en me contentant de rassembler diverses notes préparées avant la guerre, m'ont empêché d'aider ma mémoire d'aucune documentation. Ce n'est que plus tard que j'ai pris connaissance de la communication de M. Latour, de juin 1918.

Au surplus, je pense avoir suffisamment distingué du rappel des schémas connus l'exposé que je crois original de quelques montages nouveaux auxquels j'ai été conduit par des préoccupations qui sont de date plutôt récente (réglage hypersynchrone, autoexcitation... etc.). J'ai montré, notamment, que le réglage hypersynchrone ne comportait pas nécessairement l'assujettissement d'un entraînement synchrone du système en cascade (cf. M. Latour, *Bulletin de la Société française des Electriciens*, juin 1918, p. 257) ; or, il n'existerait à ma connaissance d'autre solution de ce problème que celle réalisée par la General Electric Company (voir *General Electric Review*, février 1917) sous le nom de système Scherbius modifié, bien qu'il soit indéniable que ni Scherbius, ni Kraemer n'ont apporté de contribution originale à l'invention de M. Maurice Leblanc (1903).

Légion d'honneur. — Par décret présidentiel en date du 1er avril, rendu sur la proposition du Ministre du Travail et de la Prévoyance sociale, l'un des membres du Conseil d'administration de la « Revue générale de l'Electricité ». M. Marcel Meyer, président du Syndicat des Industries électriques, a été nommé Chevalier de la Légion d'honneur. Le « Journal officiel » du 20 avril, qui publie ce décret, contient la mention suivante :

Meyer (Marcel), ingénieur des Arts et Manufactures ; président du Syndicat professionnel des Industries électriques ; 35 ans de pratique industrielle. S'est consacré avec un grand dévouement aux œuvres de solidarité et de prévoyance sociales. A pris une part active à la lutte contre la tuberculose. Durant les hostilités, a organisé un bureau de placement pour le personnel électricien. S'est spécialement occupé des mutilés et a contribué activement au développement des cours de perfection pour les apprentis de l'industrie électrique.

Nous sommes heureux d'être ici l'interprète des électriciens en adressant au nouveau légionnaire nos sincères félicitations.

Bibliographie : Les conférences de l'Association française pour l'avancement des sciences en 1917-1918 (1). — De 1872, année de sa fondation, jusqu'en 1914, l'Association française pour l'Avancement des Sciences tenait chaque année un important congrès qui réunissait dans une des principales villes de France ou de ses colonies de trois cents à cinq cents et six cents personnes. C'est Bordeaux qui eut le privilège d'être choisi en 1872 ; c'est au Havre qu'eut lieu le Congrès de juillet-août 1914, au moment où se déroulaient les préliminaires du grand drame qui allait couvrir de sang le vieux continent et en faire rejaillir jusque sur le nouveau continent.

Ces congrès annuels, en réunissant en un même lieu les personnalités marquantes de tous les domaines de la science, ont contribué dans une large mesure à la réalisation des buts que s'étaient proposés les fondateurs de l'Association : l'avancement et la diffusion de la science. Lorsque la guerre est venue empêcher ces réunions, le Conseil de l'Association a pensé qu'il était du devoir de celle-ci de reporter les sommes qu'elle consacrait chaque année à l'organisation de ses congrès sur le budget des conférences faites tant à Paris qu'en province sous ses auspices. Il fut donc décidé que les conférences de province recevraient une nouvelle impulsion et que les textes de ces conférences seraient rassemblées chaque année en un volume.

C'est un de ces volumes, le troisième de l'espèce, que nous présentons à nos lecteurs. Par exception, il ne contient aucune conférence traitant un sujet du domaine de l'électricité. Mais il est démontré de plus en plus impérativement qu'un savant ou un ingénieur ne saurait aujourd'hui se confiner systématiquement dans le domaine où il s'est spécialisé : il lui faut, pour être complet, être au courant de ce qui se passe dans les domaines voisins et à ce point de vue les conférences de l'Association française pour l'Avancement des Sciences sont de lecture tout indiquée.

On y trouvera d'ailleurs une intéressante étude d'un des membres de notre Comité de Rédaction : M. Albert Turpain, professeur à l'Université de Poitiers, qui, à Limoges, fit une conférence intitulée : « Le cinématographe, histoire de son invention, son développement, son avenir ». On y lira aussi avec non moins d'intérêt les études d'ordre économique de M. Kerforne, chargé de cours à la Faculté des Sciences de Rennes, sur « les recherches minérales du massif breton » ; de M. Louis Gentil, l'explorateur bien connu, professseur adjoint à la Faculté des Sciences de Paris, sur « le Maroc, son passé, son avenir » ; de M. A. Fauvel, sur « l'Italie du Nord, la terre, les hommes » ; de M. René Chudeau sur « le rôle économique de nos colonies pendant la guerre » ; de M. Paul Girardin sur « le Rhin dans la géographie et dans l'histoire ». Signalons aussi les études d'ordres sociologiques de P. Juillerat sur « l'action des services d'hygiène dans l'amélioration des logis parisiens » ; du docteur Bernard sur « la lutte antituberculeuse pendant et après la guerre ». Notons encore la conférence faite à Toulouse par M. Rabaud sur « la guerre au point de vue biologique » et celle faite à Nantes par M. J. Meunier sur « le coton et les industries de la cellulose ».

(1) Un volume, cartonné, format 24 cm × 16 cm, 380 pages, édité par Masson et Cie, 120, Boulevard Saint-Germain, Paris, 6e. Prix : 9 fr, plus majoration provisoire de 1e pour 100.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Le calcul des intensités dans les transformateurs disposés suivant le montage de Scott et ses conséquences au point de vue de la puissance maximum admissible

Dans cet article, l'auteur montre que les deux transformateurs d'un montage Scott travaillent dans des conditions notablement différentes et que l'on doit prendre certaines précautions dans leur emploi s'ils n'ont pas été étudiés spécialement en vue du montage en question.

Soient deux transformateurs T_1 et T_2 disposés suivant le montage de Scott ainsi que l'indique le schéma de la figure 1. L'ensemble reçoit du courant triphasé et fournit un courant diphasé.

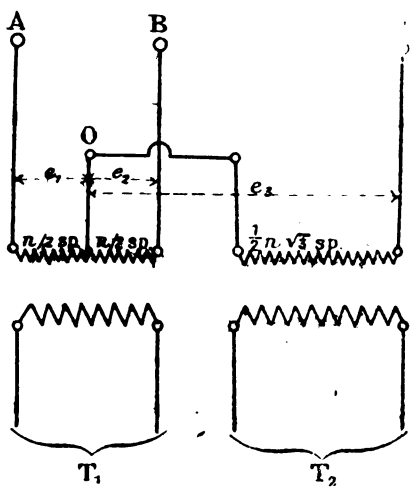


Fig. 1. — Montage système Scott.

U est la tension efficace — maintenue constante — aux bornes A, B, C du primaire.

Entre A et O, on a $\frac{n}{2}$ spires,

Id. O et B, on a $\frac{n}{2}$ spires,

Id. O et C, on a $\sqrt{3}\,\frac{n}{2}$ spires.

Soient

e_1, i_1, la force électromotrice et le courant efficaces dans AO;

e_2, i_2, la force électromotrice et le courant efficaces dans OB;

e_3, i_3, la force électromotrice et le courant efficaces dans CO;

Φ^1_r, $\Phi_r{}^2$, les flux résultants dans T_1 et T_2;

J_1, J_2, les courants secondaires;

Φ_1, Φ_2, les flux secondaires;

φ_1, φ_2, les flux primaires.

Etablissons le diagramme des forces électromotrices et des intensités en négligeant les fuites magnétiques, ainsi que les pertes dans le fer et dans le cuivre, et en

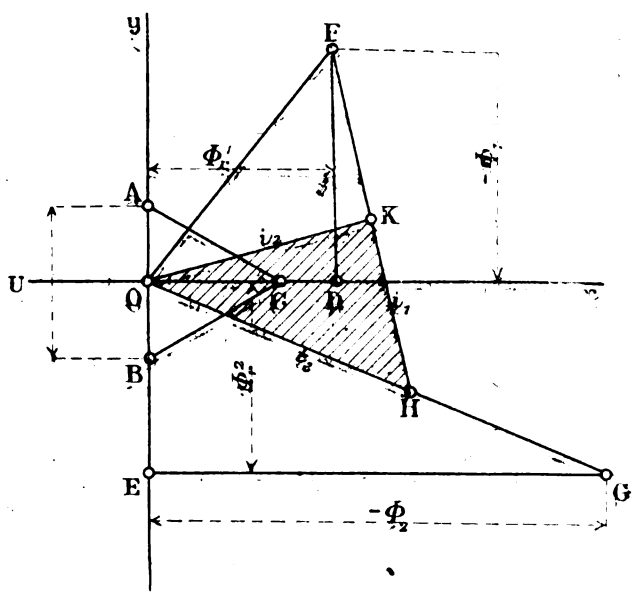


Fig. 2. — Diagramme de fonctionnement.

supposant, de plus, non inductives les charges secondaires.

Dans la figure 2, ABC représente le triangle des tensions entre bornes

$$AB = EC = CA = U.$$

Digitized by Google

On aura

$$\overline{OA} = e_1, \quad \overline{OB} = e_2, \quad \overline{OC} = e_3;$$

et

$$e_1 = -e_2 = \frac{e_3}{\sqrt{3}} = \frac{U}{2}.$$

Le flux Φ^1_r est en quadrature avec e_1 ; le flux Φ^2_r avec e_3 et on a

$$\Phi^1_r = \frac{e_1 \cdot 10^8}{4{,}44\ \nu \frac{n}{2}} = \frac{-e_2 \cdot 10^8}{4{,}44\ \nu \frac{n}{2}}$$

et

$$\Phi^2_r = \frac{e_3 \cdot 10^8}{4{,}44\ \nu \frac{n}{2}\sqrt{3}}.$$

Dans ces formules ν représente la fréquence, les grandeurs électriques sont exprimées en unités pratiques et les grandeurs magnétiques en unités électromagnétiques C. G. S.

D'où on conclut $\Phi^1_r = \Phi^2_r$.

Appelons Φ_r cette valeur commune des flux résultants. Nous la portons en OD pour le transformateur T_1, et en OE pour le transformateur T_2. Portons $\overline{DF} = -\Phi_1$ perpendiculairement à Ox et $\overline{EG} = -\Phi_2$ perpendiculairement à Oy. OF et OG représenteront respectivement les flux primaires φ_1 et φ_2.

Il en résulte que OF représente, à une échelle convenable, les ampères-tours primaires de T_1, c'est-à-dire $\frac{n}{2}(i_1 - i_2)$ et OG les ampères-tours primaires de T_2, c'est-à-dire $\frac{n}{2}\sqrt{3}\, i_3$. Si on prend $OH = \frac{OG}{\sqrt{3}}$ et si K est le milieu de FH, on voit immédiatement que $\overline{OH}$ est géométriquement proportionnel à i_3, $\overline{HK}$ à i_1 et $\overline{KO}$ à i_2. Le triangle OHK est ainsi le triangle des courants primaires. Ses côtés s'évaluent aisément au moyen des coordonnées des points K et H, qui se déduisent de celles de G et F. Ces coordonnées sont figurées dans le tableau ci-dessous :

	F	G	H	K
x	Φ_r	$-\Phi_2$	$-\frac{\Phi_2}{\sqrt{3}}$	$\frac{1}{2}\Phi_r - \frac{1}{2\sqrt{3}}\Phi_2$
y	$-\Phi_1$	$-\Phi_r$	$-\frac{\Phi_r}{\sqrt{3}}$	$-\frac{1}{2}\Phi_2 - \frac{1}{2\sqrt{3}}\Phi_r$

On en tire

$$\overline{HK}^2 = \left(\frac{1}{2}\Phi_r + \frac{1}{2\sqrt{3}}\Phi_2\right)^2 + \left(-\frac{1}{2}\Phi_1 + \frac{1}{2\sqrt{3}}\Phi_r\right)^2,$$

$$\overline{KO}^2 = \left(\frac{1}{2}\Phi_r - \frac{1}{2\sqrt{3}}\Phi_2\right)^2 + \left(-\frac{1}{2}\Phi_1 - \frac{1}{2\sqrt{3}}\Phi_r\right)^2,$$

$$\overline{OH}^2 = \frac{1}{2}\Phi_2^2 + \frac{1}{3}\Phi_r^2.$$

Ou encore

$$\overline{HK}^2 = \frac{1}{4}\Phi_1^2 + \frac{1}{12}\Phi_2^2 + \frac{1}{3}\Phi_r^2 + \frac{1}{2\sqrt{3}}(\Phi_2 - \Phi_1)\Phi_r,$$

$$\overline{KO}^2 = \frac{1}{4}\Phi_1^2 + \frac{1}{12}\Phi_2^2 + \frac{1}{3}\Phi_r^2 - \frac{1}{2\sqrt{3}}(\Phi_2 - \Phi_1)\Phi_r,$$

$$\overline{OH}^2 = \frac{1}{3}\Phi_2^2 + \frac{1}{3}\Phi_r^2.$$

On voit immédiatement que si $\Phi_1 = \Phi_2$, c'est-à-dire $J_1 = J_2$, le triangle OHK est équilatéral.

Si on néglige Φ_r devant Φ_1 et Φ_2, on aura

$$\overline{HK}^2 = \frac{1}{4}\Phi_1^2 + \frac{1}{12}\Phi_2^2,$$

$$\overline{KO}^2 = \frac{1}{4}\Phi_1^2 + \frac{1}{12}\Phi_2^2,$$

$$\overline{OH}^2 = \frac{1}{3}\Phi_2^2.$$

Si on passe des flux aux ampères-tours, on aura

$$\frac{1}{4}n^2 i_1^2 = \frac{1}{4}N^2 J_1^2 + \frac{1}{12}N^2 J_2^2,$$

$$\frac{1}{4}n^2 i_2^2 = \frac{1}{4}N^2 J_1^2 + \frac{1}{12}N^2 J_2^2,$$

$$\frac{1}{4}n^2 i_3^2 = \frac{1}{3}N^2 J_2^2.$$

ou encore, en appelant K le rapport de transformation $\frac{n}{N}$

$$K^2 i_1^2 = J_1^2 + \frac{1}{3}J_2^2,$$

$$K^2 i_2^2 = J_1^2 + \frac{1}{3}J_2^2,$$

$$K^2 i_3^2 = \frac{4}{3}J_2^2.$$

Telles sont les valeurs approximatives des courants primaires en fonction des courants secondaires. Nous en tirerons quelques conséquences au point de vue de l'emploi pratique du montage Scott.

En général, les enroulements des deux transformateurs sont identiques, les primaires comportant des prises à $\frac{n}{2}$ et à $\frac{n\sqrt{3}}{2}$. Chaque transformateur peut fonctionner en monophasé et c'est, en général, d'après ce mode de fonctionnement qu'ils sont calculés. Mais il serait dangereux, au point de vue échauffement, de faire

Digitized by Google

fonctionner les transformateurs couplés suivant le montage Scott à deux fois la puissance monophasée de chacun d'eux. En effet, en Scott, pour des charges secondaires égales à la valeur maximum admissible J, les courants primaires des deux transformateurs seront égaux à $\frac{1}{K}\frac{2}{\sqrt{3}}J$, au lieu de $\frac{1}{K}J$ pour le fonctionnement en monophasé. Il en résulte que la puissance en Scott ne devra pas dépasser les trois quarts de la puissance totale monophasée des deux transformateurs.

D'autre part, même dans le cas où J_1 étant égal à J_2, les courants primaires sont égaux, les échauffements des deux circuits primaires seront différents. Si r est la résistance d'une spire primaire, la perte par effet Joule sera pour T_1

$$\frac{4}{3}\frac{nr}{K^2}J_1^2,$$

tandis que pour T_2 elle sera :

$$\frac{2}{\sqrt{3}}\frac{nrJ_1^2}{K^2}.$$

Ces deux pertes sont dans le rapport :

$$\frac{4}{3} : \frac{2}{\sqrt{3}} = 1{,}15.$$

Enfin, si on se place au point de vue des surintensités momentanées, on se rend compte d'une autre cause de fatigue pour le transformateur T_1. Supposons qu'on ait disposé des limiteurs d'intensité sur les circuits secondaires. On voit, en faisant $J_2 = 0$, que les intensités maxima dans les phases 1 et 2 pourront atteindre une valeur égale à $\frac{2}{\sqrt{3}}$ fois celle de la phase 3. Si, au contraire, les limiteurs sont sur le primaire, J_1 pourra atteindre une valeur égale à $\frac{2}{\sqrt{3}}$ fois la valeur maximum de J_2. En adoptant des intensités maxima différentes, ou en plaçant des limiteurs sur les deux circuits primaire et secondaire, on pourra avoir une sécurité égale sur toutes les phases ; mais la probabilité d'une surintensité restera plus forte pour le transformateur T_1 ; autrement dit, T_1 aura toujours moins d'élasticité par rapport aux surcharges.

On voit donc que les deux transformateurs d'un montage Scott travaillent dans des conditions notablement différentes et qu'il y a lieu, *lorsque ces transformateurs n'ont pas été étudiés spécialement en vue d'une utilisation en montage Scott* (ce qui permettrait de les dimensionner convenablement), de prendre des précautions spéciales tant au point de vue de leur charge normale qu'à celui de la limitation des surcharges admissibles. C'est là ce que nous nous étions proposé de démontrer (1).

E. Baticle,
Ingénieur des Ponts et Chaussées.

(1) Nous avons envisagé le cas d'une charge secondaire non inductive. On traiterait de la même manière le cas de courants secondaires déphasés respectivement de Ψ_1 et Ψ_2. Le tableau des coordonnés devient alors :

	F	G	H	K
x	$\Phi_r - \Phi_1 \sin \Psi_1$	$- \Phi_2 \cos \Psi_2$	$-\frac{\Phi_2}{\sqrt{3}} \cos \Psi_2$	$\frac{1}{2}\Phi_r - \frac{1}{2}\Phi_1 \sin \Psi_1 - \frac{1}{2\sqrt{3}}\Phi_2 \cos \Psi_2$
y	$- \Phi_1 \cos \Psi_1$	$- \Phi_r + \Phi_2 \sin \Psi_2$	$-\frac{\Phi_r}{\sqrt{3}} + \frac{\Phi_r}{\sqrt{3}} \sin \Psi_2$	$-\frac{1}{2}\Phi_1 \cos \Psi_1 - \frac{1}{2\sqrt{3}}\Phi_r + \frac{1}{2\sqrt{3}}\Phi_2 \sin \Psi_2$

D'où l'on tirerait, en négligeant toujours Φ_r :

$$\overline{HK}^2 = \frac{1}{4}\Phi_1^2 + \frac{1}{12}\Phi_2^2 + \frac{1}{3}\Phi_r^2 - \frac{1}{2\sqrt{3}}\Phi_1\Phi_2 \sin(\Psi_1 - \Psi_2),$$

$$\overline{OK}^2 = \frac{1}{4}\Phi_1^2 + \frac{1}{12}\Phi_2^2 + \frac{1}{3}\Phi_r^2 + \frac{1}{2\sqrt{3}}\Phi_1\Phi_2 \sin(\Psi_1 - \Psi_2),$$

$$\overline{OH}^2 = \frac{1}{3}\Phi_2^2.$$

et, en passant aux courants

$$K^2 i_1^2 = J_1^2 + \frac{1}{3}J_2^2 - \frac{2}{\sqrt{3}}J_1J_2 \sin(\Psi_1 - \Psi_2),$$

$$K^2 i_2^2 = J_1^2 + \frac{1}{3}J_2^2 + \frac{2}{\sqrt{3}}J_1J_2 \sin(\Psi_1 - \Psi_2),$$

$$K^2 i_3^2 = \frac{4}{3}J_2^2.$$

On voit que si $J_1 = J_2$ et $\Psi_1 = \Psi_2$, les courants primaires sont encore équilibrés. Les conclusions relatives à la puissance maximum du système par rapport aux puissances monophasées des deux transformateurs subsistent.

Digitized by Google

Théorème de Pleijel

M. Pleijel, chef des essais techniques des Télégraphes à Stockholm, a dressé, en 1910, un mémoire « sur les perturbations produites par une ligne à fort courant, par suite des déménagements locaux, dans une ligne téléphonique double ». Il s'appuyait dans ses calculs sur le théorème de Thevenin et sur un lemme qu'il avait démontré d'une façon un peu compliquée. Dans l'article ci-dessous, le colonel J.-B. Pomey donne une démonstration beaucoup plus simple du théorème de Peijel.

En 1910, à la Conférence internationale des Administrations des Postes et Télégraphes d'Europe et d'Amérique, M. Pleijel, chef des essais techniques des télégraphes à Stockholm, a lu un mémoire sur « les perturbations produites par une ligne à fort courant, par suite des dérangements locaux, dans une ligne téléphonique double ».

Il y traite les problèmes suivants :

1°) Détermination du courant et de la tension induite dans un fil isolé, parallèle à la ligne inductrice.

2°) Une perte de résistance η s'est produite sur l'une des branches d'une ligne double homogène. Cette perte comporte une force électromotrice E. Il s'agit de déterminer le courant qui parcourt les appareils placés aux extrémités de la ligne.

3°) Dans une des branches d'une ligne double homogène une résistance η est insérée. Déterminer les courants qui parcourent les appareils aux extrémités de la ligne, par suite d'une force électromotrice placée au point où se trouve η.

4°) Déterminer l'intensité du courant qui parcourt les appareils téléphoniques aux extrémités d'une ligne double lorsque la balance est détruite par une résistance intercalée dans l'une des branches.

5°) Déterminer les courants induits aux extrémités d'une ligne double si la balance est détruite par une dérivation de la résistance sur l'une des branches.

Aujourd'hui que l'électrification des chemins de fer est à l'ordre du jour, la question est de toute actualité.

Ce n'est pourtant pas elle que je vais traiter; en ce qui la concerne, je me bornerai à remarquer que les énoncés des problèmes mêmes que M. Pleijel a traités par le calcul constituent également le programme le plus rationnel concernant les expériences à faire sur les lignes téléphoniques pour déterminer les causes des influences qu'elles subissent de la part des lignes de traction.

Le point sur lequel je m'arrêterai, c'est la démonstration d'un lemme que M. Pleijel emploie concurremment avec le théorème de Thévenin et dont il donne une démonstration d'apparence un peu compliquée. Voici son énoncé :

Théorème de Pleijel. — Si une résistance η sans capacité est insérée dans l'une des branches d'un réseau complexe, l'augmentation de l'intensité dans une branche quelconque devient la même que celle que produirait une force électromotrice placée au même point, qui est égale à ηi, quand i est le courant qui se trouvait dans la branche considérée avant le changement. La force électromotrice ηi devra être dirigée vers le courant i.

Démonstration. Soit

$$J = \Sigma r i^2,$$

la chaleur de Joule, puissance calorifique du réseau complexe considéré. Soient i, i', i'' etc., les courants, on a pour chaque sommet la loi de Kirchhof

$$\Sigma i = 0.$$

Ces équations sont des équations de liaison en nombre $n-1$ distinctes, s'il y a n sommets. Elles permettent d'exprimer $n-1$ intensités en fonction des autres qui seront alors des variables indépendantes. Je conserve la variable i, soient x, y, z, etc. les autres intensités indépendantes. Cela posé, j'ai déjà montré que l'on pouvait donner aux équations une forme simple en fonction de J. La chaleur de Joule est donc devenue une fonction quadratique des intensités conservées i, x, y, z, etc. Si, d'autre part, l'énergie fournie au système était $Ei + E'i' + E''i''$ etc., on a pu la mettre sous la forme

$$ei + e'x + e''y + e'''z, \text{ etc.},$$

après que i', i'' etc. ont été exprimés en fonction des intensités indépendantes. Alors les équations de Kirchhoff deviennent :

$$(1)\qquad e = \frac{1}{2}\frac{\partial J}{\partial i}, \qquad e' = \frac{1}{2}\frac{\partial J}{\partial x}, \qquad e'' = \frac{1}{2}\frac{\partial J}{\partial y}, \text{ etc.}$$

J est une fonction linéaire des résistances et ses dérivées partielles sont des fonctions linéaires des intensités indépendantes.

Cela posé, si r augmente de η, J augmente de ηi^2, les dérivées partielles de J resteront inchangées sauf $\frac{1}{2}\frac{\partial J}{\partial i}$ qui augmentera de ηi.

Digitized by Google

Les nouvelles équations sont donc faciles à écrire; pour éviter toute confusion, je donnerai l'indice 1 à toutes les nouvelles intensités et j'aurai :

$$(2)\qquad \begin{cases} e = \dfrac{1}{2}\dfrac{\partial J}{\partial i_1} + \eta i_1, \\ e' = \dfrac{1}{2}\dfrac{\partial J}{\partial x_1}, \\ e'' = \dfrac{1}{2}\dfrac{\partial J}{\partial y_1}, \text{ etc.} \end{cases}$$

Cherchons maintenant les équations relatives aux accroissements

$$i_1 - i, \qquad x_1 - x, \qquad y_1 - y, \text{ etc.}$$

Posons pour abréger :

$$i_1 - i = i_2, \qquad x_1 - x = x_2, \qquad y_1 - y = y_2, \text{ etc.}$$

Si nous retranchons membre à membre les premières équations des secondes, en remarquant que les dérivées partielles sont des fonctions linéaires homogènes de i et de i_1 etc., que par suite leur différence est la même fonction de $i_1 - i$, etc. et qu'on peut écrire :

$$\frac{\partial J}{\partial i_1} - \frac{\partial J}{\partial i} = \frac{\partial J}{\partial i_2},$$

il viendra :

$$(3)\qquad \begin{cases} 0 = \dfrac{1}{2}\dfrac{\partial J}{\partial i_2} + \eta i_2 + \eta i, \\ 0 = \dfrac{1}{2}\dfrac{\partial J}{\partial x_2}, \\ 0 = \dfrac{1}{2}\dfrac{\partial J}{\partial y_2}, \text{ etc.} \end{cases}$$

Faisons passer ηi dans le premier membre en changeant le signe, nous voyons que les équations (3) se déduisent des équations (2) en faisant

$$e' = e'' = \ldots = 0 \qquad \text{et} \qquad e = -\eta i.$$

Donc les accroissements sont dus à la force électromotrice ηi, ce qui démontre le théorème.

On sait d'ailleurs que pour passer du cas des courants constants à celui des courants périodiques, il suffit de remplacer les résistances par des opérateurs imaginaires. On sait aussi qu'on peut tenir compte de la même façon des forces électromotrices d'induction mutuelle, etc. Dans tous ces cas la même forme subsiste. Cela a déjà été montré bien des fois et ce n'est pas l'objet de la présente démonstration, je le considère comme un point acquis. Il en résulte que la démonstration est générale. Elle subsiste évidemment aussi dans le cas où le nombre des variables est infini, celui par exemple où l'on a affaire à une ligne téléphonique homogène terminée par des réseaux complexes de chaque côté, car la démonstration repose sur la forme des équations et est indépendante du nombre des variables. Et cela suffit.

J.-B. POMEY.
Ingénieur en chef des Télégraphes

La Conférence interalliée des Associations de Chimie

Nous avons signalé en éditorial dans notre dernier numéro, 19 avril 1919, t. V, p. 580, les principaux travaux de la Conférence interalliée des Associations de Chimie, nous y revenons aujourd'hui avec plus de détails.

La conférence interalliée des Associations de Chimie pure et appliquée a eu lieu les 14 et 15 avril 1919; elle a commencé ses travaux le lundi 14 avril 1919, dans la matinée, sous la présidence de M. le professeur Moureu, membre de l'Institut (1).

Le lundi après-midi, à l'Hôtel de la Société des Ingénieurs civils, eut lieu la première séance publique sous

(1) Les délégués à la Conférence interalliée des 14 et 15 avril étaient : **Belgique** : M. CHAVANNE, président de la Société chimique de Belgique, professeur à l'Université de Bruxelles. — **Etats-Unis** : *Représentants de l'American Chemical Society*, Mr Henry WIGGLESWORTH, commissaire au Département du Commerce des Etats-Unis, conseiller à la Conférence de la Paix; lieutenant-colonel WILDER D., professeur de chimie à l'Université Cornell; Mr March.-F. CHASE; Dr Frederick COTTRELL, ingénieur en chef au Bureau des Mines des Etats-Unis; Major Frederick KEYES, conseiller à la Conférence de la Paix; Major Colin MACKALL, professeur de chimie à l'Université de Virginia; Mr John-C. PENNIE, conseiller à la Conférence de la Paix (brevets); Mr Charles-H Mac DOWELL, chef de la Section chimique au ministère des Industries de guerre et des Etats-Unis; lieutenant-colonel J.-F. NORRIS, professeur de chimie à l'Institut de technologie de Massachusetts, Boston; lieutenant colonel J. Enrique ZANETTI, professeur de chimie à l'Université de Columbia. *Représentant de l'American Institute of chemical Engineers* : lieutenant-colonel Edward BARTOW, directeur du Service des Eaux de l'Illinois. — **Royaume-Uni de Grande-Bretagne** : *Représentants du Bristish federal council for pure and Applied Chemistry* : Sir William POPE K. B.E. F. R. S., président du Bristish federal Council, ancien président de la Chemical Society, professeur de chimie à l'Université de Cambridge; Mr A. CHASTON-CHAPMAN, ancien président de la Society of public analyste. *Représentants de la Society of chemical industry à Londres* : professeur Henry LOUIS, président de la Society of chemical Industry, professeur de Mines, Armston College of Science, Newcastle; Stephen MIALL, secrétaire général de la Section de Londres de la Society of chemical Industry; Mr W.-F. REID, ancien président

Digitized by Google

la présidence de M. Fleurent, directeur de l'Office des Produits chimiques et pharmaceutiques au Ministère du Commerce, remplaçant M. Clémentel, ministre du Commerce, que ses devoirs parlementaires avaient retenu à la Chambre des Députés.

Les discours officiels ont été suivis de trois communications faites par les plus illustres chimistes des nations alliées. Nous en donnons ci-dessous une courte analyse.

Le traitement des minerais de fer pauvres surtout par concentration magnétique, par M. Henry Louis, président de la Society of Chemical Industry.

M. Henry Louis, après avoir rappelé le rôle capital joué par l'industrie métallurgique pendant la guerre, a montré que la nécessité d'économiser le charbon et l'épuisement progressif des minerais très riches en fer ont conduit les métallurgistes à concentrer les minerais relativement pauvres qu'ils sont obligés de traiter.

Depuis des temps très reculés on a employé le lavage pour enrichir les minerais pauvres, mais ce procédé n'est avantageux que dans des conditions exceptionnelles. Les progrès de l'électricité ont conduit à utiliser un moyen beaucoup plus efficace : la concentration magnétique.

Les minerais de fer possèdent tous une perméabilité magnétique beaucoup plus grande que celle des autres minerais. Cependant la magnétite (Fe^3O^4) est le seul minerai de fer qui soit fortement magnétique, les autres ne sont influencés que sous des champs intenses. Les appareils destinés à concentrer de la magnétite sont donc fort différents de ceux utilisés pour traiter les autres minerais. Mais il est facile de transformer les carbonates de fer et les hématites en magnétite. Toutefois, la magnétite naturelle se prête mieux à la séparation magnétique par voie humide, et la magnétite artificielle à la séparation par voie sèche, qui, d'ailleurs, est moins complète que la première.

Le premier brevet pris pour la séparation du minerai de fer par l'aimant a été pris en 1792 par l'anglais William Fullerton, mais il n'a pas été appliqué.

La première réalisation pratique de séparation magnétique des minerais de fer a été faite en 1858, aux mines de Traversella, en Piémont, par l'ingénieur italien, Sella.

En 1880, des ingénieurs suédois réalisèrent des appareils de séparation magnétique fort ingénieux, et le procédé se développa rapidement en Scandinavie et dans l'Amérique du Nord.

M. Henry Louis a fait la description d'un certain nombre d'appareils actuellement employés : l'appareil Wenstroëm, un des plus anciens et encore un des meilleurs, l'appareil de M. Gustave Gröndal, ceux de MM. Ball et Norton, l'appareil Wetherill, la machine Ulrich. Le conférencier a décrit en même temps un certain nombre de grosses installations et il a montré que les procédés de séparation magnétique pourraient fort bien être utilisés en France.

Quel que soit l'appareil avec lequel la concentration magnétique a été réalisée, le minerai concentré est toujours obtenu sous forme de grains très fins et parfois en poussière; on ne peut l'employer tel quel dans les hauts fourneaux, il faut l'agglomérer en morceaux suffisamment solides pour résister aux chocs et à la pression de charge dans le haut fourneau, ils ne doivent pas se désagréger par la chaleur et doivent être poreux.

La production de ces morceaux se fait par trois procédés, le briquetage, la nodulisation et l'agglomération; le conférencier a décrit rapidement ces procédés.

M. Henry Louis a terminé son intéressante communication en montrant que la France, malgré sa richesse en minerais de fer, a intérêt à procéder à la concentration de ses minerais, surtout dans le but d'économiser du charbon dont elle manque.

La production industrielle de l'hélium, par M. Frédéric Cottrel.

En 1868, l'astronome Janssen découvrit une nouvelle raie jaune dans la photosphère du soleil, ne correspondant à aucun corps connu. Frankland et Lokyer donnèrent à ce gaz inconnu le nom d'hélium; en 1882, Palmer constata sa présence dans les gaz émis par le Vésuve, enfin Sir William Ramsay, en examinant les gaz contenus dans certains numéros radio-actifs, découvrit que ces gaz étaient de l'hélium. Un peu plus tard les travaux de Bogurelli, de Curie, de Mme Curie, de Ramsay, de Rutherford et d'autres ont démontré que l'hélium est un produit de décomposition des éléments élevés dans la désintégration des produits radio-actifs.

D'après les recherches de Ramsay, l'air contient de l'hélium en proportion d'environ 4 millionièmes; en 1907, Cady découvrit qu'un certain nombre de puits de gaz naturels du Kansas contenaient plus de 1 pour 100 d'hélium.

Les principales propriétés de l'hélium sont les suivantes : 1° son inertie absolue; 2° son extrême légèreté, environ 2 fois le poids de l'hydrogène; 3° il est monoatomique et ne se liquéfie qu'à une température plus basse que l'hydrogène. En l'évaporant dans le vide, Kammerlinghes Omeses put atteindre la température de 5 degrés absolus; 4° l'hélium a un très faible pouvoir diélectrique permettant à la décharge électrique de le traverser plus facilement que les autres gaz.

Sir William Ramsay eut, en février 1915, le premier l'idée d'employer l'hélium dans les aérostats à la place de l'hydrogène. Il a en effet sur ce gaz les avantages suivants : il est ininflammable et a un pouvoir de diffusion à travers les enveloppes des ballons environ moitié moindre que celui de

de la Society of chemical Industry; Mr Edwin Thompson, membre du Conseil de la Society of chemical Industry. — **Italie** : professeur Emmanuel Paterno, président de la Societa chimica italiana; Dr Giuseppe Paterno. *Societa chimica italiana Sezioni di Napoli :* Dr ingénieur Umberto Pomilio; Dr Francesco Giordani. *Societa di Chimica industriale Torino :* ingénieur Leopoldo Parodi; Dr Eugenio Barbier. — **France** : *Représentants de l'Académie des Sciences :* M. Moureu, membre de l'Institut. *Représentant de la Société chimique :* MM. Haller, membre de l'Institut; Behal, membre de l'Académie de Médecine; Hanriot, chef du Service des Essais à la Monnaie; Marquis, rédacteur en chef des Publications. *Représentants de la Société de Chimie industrielle :* MM. Kestner, président; Duchemin, vice-président, président du Syndicat général des Produits chimiques; Matignon, vice-président, rédacteur en chef de « Chimie et Industrie »; J. Gerard, secrétaire général. *Représentants de la Société de Chimie physique :* MM. Darzens, président; Marie, secrétaire général. *Représentants de la Société de Chimie biologique :* MM. Nicloux, président; Bridel. *Représentants de l'Association des Chimistes de sucrerie et de distillerie :* MM. Naudet, vice-président; Levallois, membre du Conseil; Raimbert, membre du Conseil. *Représentants de la Société des Experts chimistes :* MM. Filaudeau, secrétaire général; Bonjean, membre du Conseil supérieur d'Hygiène publique en France; *Représentants de l'Association des Chimistes de l'industrie textile :* MM. O. Piequet, président; Montavon, secrétaire général. *Attachés à la Conférence :* MM. Voisin, chargé de la Presse française; Alexander, chargé de la Presse étrangère; Meeus, attaché à la Délégation américaine; Lormand, attaché à la Délégation anglaise.

Digitized by Google

l'hydrogène. De plus, quoique deux fois plus lourd que l'hydrogène, l'hélium a un pouvoir ascensionnel qui est de 90 pour 100 de celui du premier gaz, le pouvoir ascensionnel étant mesuré par la différence entre le poids de l'air et le poids du gaz remplissant l'aérostat.

Les Etats-Unis, sous la direction du colonel Burrell, entreprirent la recherche de sources de gaz naturels contenant une forte proportion d'hélium. On trouva à Petrolia (Texas) une source débitant 700 000 m³ par jour d'un gaz contenant 0,9 pour 100 d'hélium. Des crédits importants furent affectés pour l'extraction industrielle de l'hélium à partir de ces gaz. L'usine Linde atteignit une production de 100 m³ d'hélium à 70 pour 100 de pureté par jour; un deuxième traitement portait cette hélium à 92 ou 93 pour 100 de pureté.

Une usine utilisant les procédés de M. Claude fut également construite. Un nouveau procédé, le procédé de Norton, permettra d'obtenir l'hélium à 16 fr le mètre cube et peut-être même à 4 fr si les espérances se réalisent.

Les usines actuellement en construction sont capables de produire 500 000 m³ d'hélium par an.

Discussion. — A la suite de la communication de M. Cotterel, M. le professeur Moureu indiqua qu'il avait trouvé de l'hélium dans tous gaz souterrains comme ceux émanés par les sources thermales. Par exemple, les gaz de la source thermale de Maizières, dans la Côte-d'Or, renferment de 5 à 6 pour 100 d'hélium; ceux de Santenay, également dans la Côte-d'Or, contiennent jusqu'à 10 pour 100 d'hélium, ceux de Bourbon-Lancy (Saône-et-Loire) renferment également 2 pour 100 d'hélium. Cette dernière source a été exploitée dans ce sens par une maison française qui en a tiré environ 300 litres pour des usages de laboratoires. Les grisous aussi contiennent de notables proportions d'hélium. M. le professeur Moureu a constaté que l'hélium était toujours accompagné des quatre autres gaz rares, argon, néon, crypton et xénon; ces quatre derniers gaz se trouvent toujours dans le même rapport, qu'ils soient considérés dans l'atmosphère ou dans un gaz quelconque. L'hélium fait exception à cette règle, ce qui est très compréhensible, car il se produit continuellement par décomposition des atomes radio-actifs. M. le professeur Moureu explique la constance de ce rapport par l'inertie chimique de ces quatre gaz, qui seuls, avec l'azote, qui entre dans peu de corps, sont restés dans le même rapport que primitivement dans la nébuleuse originelle.

M Georges Claude prit aussi la parole après M. Moureu. Il indiqua qu'il n'avait pu suivre lui-même l'exploitation de son procédé en Amérique. Il fit quelques remarques sur le procédé Norton et exposa l'avenir du néon dans l'éclairage électrique. Enfin il montra que l'obtention de températures voisines du zéro absolu permettra sans doute à la science de faire de nouveaux progrès, car, à cette température, la conductibilité électrique de certains ces est augmentée de 20 millions de fois.

Après quelques mots de M. Kestner qui rappella que M. Cotterel est l'inventeur du procédé électrique de purification industrielle des gaz, la parole fut donnée à M. Mac Dowell.

La situation de la potasse en Amérique, par M. Charles H. Mac Dowell.

En 1914, les Etats-Unis importaient 240 000 t de potasse pure par an venant presqu'en totalité d'Allemagne, il n'y avait pas de production indigène. Le blocus de l'Allemagne par l'Angleterre causa une situationdifficile. A part la potasse contenue dans certains lacs de Californie et de Nobrasia aucune source de potasse soluble dans l'eau n'était connue. La première entreprise de production industrielle de potasse d'un grand développement fut l'exploitation d'un gisement d'alunite (sulfate double de potasse et d'alumine) dans le sud de l'Utah. Par un simple procédé de torréfaction dans un four en ciment, la potasse devint soluble dans l'eau et put être recueillie sous forme de sulfate pratiquement pur et exempt de chlorure, la seule impureté étant du sulfate de soude. Les lacs alcalins de Nebrasia furent exploités et par simple évaporation donnent 500 t de potasse par jour contenant environ 26 pour 100 de potasse pure.

Le lac de Searles contenant du chlorure de potassium, du borax et des sels de soude, fournit également une quantité notable de potasse.

Le kelp, algue marine de la côte du Pacifique, donna aussi 39 255 t de potasse pure.

Les fabriques de ciment, les mélasses, les eaux de « steffens », les cendres de bois et d'autres sources ont permis aussi d'obtenir une certaine quantité de potasse.

Au 1er janvier 1919, la capacité totale de production des Etats-Unis était d'environ 100 000 t de potasse pure. Cette quantité est insuffisante eu égard aux besoins des Etats-Unis et M. Charles H. Mac Dowell exprime le vœu que la potasse alsacienne trouve dans son pays un excellent marché, elle y sera la bienvenue.

Le mardi 16 avril 1919, la Conférence interalliée a continué ses travaux en séance privée, le matin, et en séance publique, l'après-midi, sous la présidence du Professeur Haller, membre de l'Institut, remplaçant M. Ernest Solvay, Ministre d'Etat de Belgique, que son grand âge et une légère indisposition ont empêché de venir présider la séance de clôture des travaux de la Conférence.

Durant cette séance, les communications suivantes furent entendues :

La Question des brevets en Amérique, par M. John C. Pennie, conseiller à la Conférence de la Paix, délégation des Etats-Unis.

La délivrance des brevets aux Etats-Unis se fait avec un esprit très large, elle est considérée par le Gouvernement comme une récompense à l'inventeur, qu'il soit citoyen américain ou étranger, et comme une invitation à l'inventeur à publier, dans l'intérêt public, des procédés et appareils qui, sans cela, seraient exploités en secret.

Le brevet est accordé pour une période de 17 ans à partir du jour de sa délivrance, moyennant une taxe originale très faible, aucune redevance annuelle n'est exigée; aucune obligation pour l'inventeur d'exploiter son brevet ne lui est imposée pendant toute la durée du brevet.

Pendant la guerre, ces prescriptions fondamentales des lois des Etats-Unis n'ont été modifiées par aucune mesure législative ou exceptionnelle en ce qui concerne les nations alliées et associées et les nations neutres.

La guerre a néanmoins obligé le gouvernement des Etats-Unis à utiliser au grand nombre d inventions appartenant à des nationaux des pays ennemis titulaires de brevets, et, en particulier, celles qui étaient relatives à la fabrication des explosifs, des munitions, des matières colorantes et des produits pharmaceutiques.

Digitized by Google

Le gouvernement des Etats-Unis, en raison de la guerre, a exercé un droit de priorité sur l'usage de ces inventions dans le but de la conduite de la guerre et de l'intérêt public général ; il a accordé plusieurs autorisations à ses nationaux d'exploiter pendant la guerre des brevets appartenant à des sujets ennemis, mais en conservant à l'inventeur la propriété de son invention et en portant au crédit du compte devant être payé à l'ennemi, au moment de la signature de la paix, le coût des licences.

Dans d'autres cas, le gouvernement des Etats-Unis a permis de vendre purement et simplement des brevets ennemis, particulièrement ceux concernant les industries chimiques, électro-chimiques et métallurgiques. Ces ventes ont d'ailleurs été faites au profit des propriétaires des brevets. Pour éviter que ces brevets soient monopolisés par des personnalités privées ou des compagnies, la vente a été faite à la Compagnie Chemical Foundation Incorporated. Sous les auspices de cette corporation, les inventions représentées par les brevets sont vendues et gérées, avec une répartition convenable, au bénéfice des industries chimiques et métallurgiques.

Dans le cas où le paiement des licences accordées par le Chemical Foundation Incorporated atteint la somme payée par les brevets, la corporation doit rembourser ses actionnaires au prorata de leur contribution et, s'il y a une différence en plus, ce surplus sera abandonné dans un but altruiste, en particulier pour des recherches chimiques et métallurgiques et pour la diffusion de la science à travers le monde.

Les mesures prises par le Gouvernement des Etats-Unis auront pour effet principal de faire échapper à la main mise allemande le contrôle qu'elle exerçait par des moyens abusifs.

Discussion. — A la suite de la communication de M. John Pennie, M. Barbet a pris la parole pour montrer la nécessité de la création d'un brevet interallié. Il a fait un exposé rapide de la législation française des brevets, régie par la loi de 1844, qui impose aux inventeurs des taxes annuelles très lourdes et multiplie les causes de déchéance, M. Barbet s'est montré l'adversaire de la suppression de toute taxe annuelle, il serait d'avis de maintenir une très légère taxe annuelle, uniquement pour savoir si l'inventeur abandonne son brevet au domaine public ou désire pouvoir l'exploiter à une époque déterminée.

M. John Pennie répondit à M. Barbet que les Etats-Unis étaient très favorables à la création d'un brevet interallié, mais qu'ils étaient opposés au paiement de toute taxe, si légère soit elle, la délivrance des brevets étant considérée par eux comme une récompense pour l'inventeur et non comme une source de revenus pour l'Etat.

L'Organisation de la Documentation internationale et le rôle des Associations de Chimie, par M. Paul Otlet, directeur de l'Institut international de Bibliographie de Bruxelles.

M. Otlet montra tout d'abord la nécessité de créer une littérature internationale sur les travaux scientifiques et sur les applications industrielles.

Jusqu'en 1895, on peut dire que la documentation scientifique et industrielle n'existait pas, chacun classait des documents comme il lui plaisait. C'est à cette époque que fut créé l'Institut international de Bibliographie à Bruxelles ; il eut deux tâches principales à accomplir : 1° Faire le catalogue des écrits afin de mettre les hommes en rapport par des documents ; 2° créer l'union des différentes Associations dans le but d'établir entre les diverses branches plus de cohésion et plus d'unité.

M. Otlet, après avoir montré que la documentation chimique n'est qu'une partie de la documentation générale, et qu'il est difficile de dire où commence une science et où elle finit, a rappelé que le répertoire bibliographique de la ville de Bruxelles comportait plus de 11 000 000 de fiches classées en deux groupes, par auteurs et par matières.

M. Otlet a donné ensuite quelques indications sur l'organisation d'un service de documentation. Ce service doit être confié à des savants et ingénieurs spécialistes capables de déterminer la valeur individuelle et sociale du document ou de l'invention.

Le document doit être ensuite incorporé, à une place convenable dans le corps scientifique général, puis publié le plus vite possible afin d'être rapidement connu de tous.

Le Mémoire doit porter une conclusion de l'auteur, il doit être conservé dans une bibliothèque et catalogué, une analyse doit en être faite par un spécialiste.

L'Office de documentation devra faire une bibliographie des titres des documents et une bibliographie des résumés. Il publiera également de grands traités renfermant les documents les plus récents.

Pour le moment, un grand nombre de revues publient des résumés de travaux parus dans d'autres publications, la plupart du temps, ces analyses sont faites par des personnes n'ayant pas qualité pour, sont incomplètes et répétées dans plusieurs journaux à la fois, d'où dépense inutile.

M. Otlet donna ensuite quelques indications sur le répertoire bibliographique, le système des fiches, la classification décimale et les dossiers documentaires, nous n'insistons pas sur cette partie de la communication de M. Otlet qui traite de questions bien connues des lecteurs de la «R. G. E.».

L'éminent conférencier a terminé sa communication en souhaitant que l'organisation de la documentation soit établie sur le type fédératif, qui donne les meilleurs résultats, avec responsabilité effective de chaque association dans sa partie. Une Union internationale serait établie entre les diverses fédérations. Enfin, M. Otlet espère que les traités importants, les formulaires, etc., devraient être tous soumis au contrôle des fédérations.

Résultats des travaux de la Conférence. — La Conférence interalliée des Associations de Chimie pure et appliquée, comme conclusions à ses travaux, a pris les résolutions ci-dessous et décidé la constitution d'un Conseil fédéral.

Résolutions. — 1° Les membres de la Conférence interalliée des Associations de Chimie, réunie les 14 et 15 avril 1919, adoptent à l'unanimité le principe de la fondation d'une Confédération des Associations de Chimie pure et appliquée ;

2° Ils émettent le vœu que les Associations de chaque pays allié se constituent en Fédération nationales, ou créent un Conseil national, et les invitent à envoyer, sans retard, leur adhésion, la prochaine session de la Conférence devant se tenir du 15 au 18 juillet à Londres.

3° Ils admettent la possibilité de l'affiliation ultérieure des Associations des pays neutres :

4° Une Commission d'études est constituée au sein de

Digitized by Google

la Conférence, pour établir un programme général d'organisation, elle pourra consulter les Associations des pays alliés, non représentés à la Conférence ;

3° Cette Commission tiendra lieu, provisoirement, de Conseil jusqu'à la constitution définitive de la Confédération. Son pouvoir sera limité à l'exécution des décisions prises par la Conférence.

Constitution d'un Conseil fédéral. — La Conférence décide de constituer un Conseil provisoire composé de deux délégués des nations représentées. Les délégués désignés sont :

MM. Chavanne, Crismer (Belgique) ; Dr Cottrell, Lieutenant-Colonnel Zanetti (Etats-Unis) ; Moureu, Kestner (France) ; Sir William Pope (Henry Louis) (Royaume Uni de Grande Bretagne et d'Irlande) ; Sénateur Paterno, Pasodi-Delfino (Italie).

Le secrétariat général est confié à M. Jean Gérard, secrétaire général de la Société de Chimie industrielle de France.

Le bureau provisoire a son siège à Paris, 49, rue des Mathurins.

Banquet du mardi soir 15 avril 1919. — Ce banquet, présidé par M. Loucheur, Ministre de la Reconstitution industrielle, assisté de M. Boret, Ministre de l'Agriculture, a réuni les membres de la conférence et les membres des différentes associations interalliées.

Treize discours furent prononcés par les personnalités alliées les plus éminentes du monde de l'Industrie chimique. Parmi ces discours nous relevons en particulier celui de M. Kestner, président de la Société de Chimie industrielle, qui, après avoir salué les représentants des nations alliées et associées, a fait un émouvant tableau de la situation économique lamentable de la France envahie et dévastée par les hordes germaniques. Il fit un vibrant appel à nos alliés pour qu'ils aident la France, leur compagne de lutte et de victoire, dans son relèvement industriel et il demanda au Ministre d'être le guide d'une industrie non découragée et désireuse de reprendre la place qui lui est due.

M. Loucheur, ministre de la Reconstitution industrielle, prit la parole en dernier ; il montra le rôle formidable joué par la chimie pendant la guerre et pourtant tout a été à faire, tout a été à créer. En un temps extrêmement court on réalisa ce miracle non seulement de produire la qualité, mais la quantité.

Le ministre rappela que, si notre effort a été formidable, celui de l'ennemi l'a été également ; nous avons à reconnaître que nous avons eu sur le terrain militaire et avons sur le terrain industriel un grand adversaire. Si nous voulons l'abattre également sur ce terrain, il faudra conserver la coopération entre alliés et ne reprendre avec l'ennemi que les relations commerciales strictement nécessaires. Il demanda que nous n'oublions pas ceux qui sont tombés au champ d'honneur ; les taches de sang ne s'effacent pas si rapidement et nous devons « ne cherchant pas de vengeance inutile, rester comme nous sommes, amis et alliés, et travailler entre nous, entre nous seulement ». M. Loucheur exposa la nécessité de faire des situations convenables aux jeunes ingénieurs chimistes, de créer de vastes laboratoires munis de l'outillage le plus perfectionné si nous voulons que notre industrie chimique atteigne et dépasse l'industrie chimique allemande. Il fit appel à tous pour que l'union des alliés pendant la guerre persiste dans la paix et termina en demandant à tous de ne jamais oublier le vieux proverbe anglais « Where is a will, there is a way », « Là où il y a une volonté, il y a un chemin ».

Visite à Chauny. — Le mercredi 16 avril, les membres de la conférence interalliée ont été conduits à Chauny où ils ont pu constater la destruction totale et systématique faite par l'ennemi dans cette ville qui était avant la guerre un des centres principaux de l'industrie chimique française.

H. C.

Revues, analyses et informations

Recherches sur le fonctionnement chimique de l'accumulateur au plomb (1).

M. Ch. Féry expose tout d'abord la théorie admise actuellement de la double sulfatation. Cette théorie, bien que permettant d'obtenir par le calcul la force électromotrice qu'on relève expérimentalement, n'est pas en accord avec les lois générales de l'électrolyse. De plus, M. Féry a fait sur les accumulateurs au plomb un certain nombre de remarques qui ne semblent pas conformes à la théorie de la double sulfatation :

1° Les variations de poids de la positive sont pratiquement nulles aussi bien pendant la charge que pendant la décharge, tandis qu'elles devraient être du même ordre que celles de la négative ;

2° Après la décharge, la positive n'est pas blanche comme le voudrait la théorie ;

3° La teinte de la négative se fonce pendant la décharge, tandis qu'elle devrait blanchir ;

4° La réduction du sulfate de plomb à la négative est lente et difficile ; la peroxydation de ce même composé à la positive est encore plus pénible, car il est à la fois isolant et très peu soluble.

Les considérations qui précèdent ont amené M. Ch. Féry à une étude approfondie des phénomènes qui se passent dans l'accumulateur au plomb.

Étude de la positive. — Après avoir chargé à refus une plaque positive, M. Ch. Féry en a détaché la matière active, l'a lavée à l'eau distillée et séchée à l'étuve à 35° C. Cette substance est d'un beau noir qui n'a rien de commun avec la teinte brune de PbO^2. Placée dans un tube à boule dans lequel passe un courant d'hydrogène sec, la matière positive se réduit avec dégagement de chaleur et formation de H^2O jusqu'à ce que sa teinte soit devenue celle de PbO^2.

M. Féry a également constitué une pile par une lame de platine entourée de matière positive placée dans un vase

(1) Ch. Féry. *Bulletin de la Société française des Electriciens*, février 1919, p. 85.

Digitized by Google

poreux et par une lame de zinc amalgamée, le tout plongeant dans de l'eau acidulée de SO^4H^2, la différence de potentiel aux bornes de cette pile était de 2,4 v, tandis qu'en remplaçant la matière positive par du bioxyde de plomb PbO^2. M. Féry n'a obtenu que 0,7 v.

Si on remplace, dans cette expérience, le vase poreux contenant la lame de platine entourée de son dépolarisant par une grille positive d'accumulateur chargée, on obtient d'abord un premier palier à 2,4 v, puis, après le crochet final, un second palier commençant à 0,7 v. La capacité représentée par ce second palier est considérable; la décharge à 2,4 v ne dure que quelques heures, tandis que celle à 0,7 v peut durer plusieurs jours et ne se termine que lorsque la plaque positive est ramenée à l'état de plomb métallique.

Enfin, M. Ch. Féry a constaté que la matière noire extraite des alvéoles d'une positive chargée et abandonnée à elle-même à l'abri de toute poussière réductrice finit par prendre la teinte puce du bioxyde de plomb.

D'après ces expériences, on voit que, au début de la décharge, la matière positive est constituée par un oxyde de plomb plus riche en oxygène que PbO^2 et qui passe à l'état de PbO^2 après le crochet normal de l'accumulateur. L'analyse chimique, effectuée par pesée, avant et après réduction complète par l'hydrogène, a conduit M. Ch. Féry à la formule Pb^3O^7 ou $Pb^2O^{7/3}$.

Une autre analyse faite par réduction par l'acide oxalique et dosage au permanganate a donné le même résultat.

On pouvait craindre que la matière positive chargée, qui se réduit spontanément, ait perdu une partie de son oxygène pendant le lavage à l'eau distillée et le séchage à l'étuve. M. Ch. Féry, pour obtenir une détermination correcte de la formule de la matière positive, a constitué un élément par une petite positive contenant seulement 22 gr de matière et deux grosses négatives d'une capacité de 40 a-h. La décharge était alors limitée par l'épuisement de la positive; en admettant qu'elle passait à l'état de PbO^2, on pouvait calculer la quantité d'oxygène libéré. Cette méthode a conduit M. Ch. Féry à la formule $Pb^2O^{5,2}$, soit 4 pour 100 en plus de la formule Pb^2O^5 indiquée par M. Drézeviecki comme représentant la constitution de la matière positive active. Ce corps serait l'anhydride de l'acide perplombique $Pb^2O^6H^2$.

L'analyse chimique donne donc un résultat par défaut à cause de la désoxydation spontanée de ce peroxyde et l'analyse électrolytique un résultat par excès à cause de la formation de corps très oxydants pendant l'électrolyse tels que l'eau oxygénée, l'ozone et peut-être même l'acide persulfurique.

Enfin, si on désigne par 1 la résistivité de PbO^2, celle de Pb^2O^5 est représentée par 22.

Etude de la négative. — On admet généralement que le plomb réduit qui constitue la matière active de la négative chargée se transforme après la décharge en SO^4Pb. Cependant la matière positive déchargée est d'un gris foncé, tandis que le sulfate normal de plomb est blanc.

M. Ch. Féry a voulu savoir si le changement de teinte était superficiel ou intéressait toute la masse. Pour cela, il a versé et tassé dans le fond d'un tube de verre portant un fil de plomb le traversant en guise d'électrode la pâte de litharge et d'acide étendu employée pour garnir les alvéoles des grilles négatives. Après durcissement de la pâte, le tube a été rempli d'eau acidulée et la négative a été formée comme d'habitude en employant une positive verticale plongeant dans le liquide. Après formation, si on fait débiter ce petit élément, on voit une zone d'un gris très foncé presque noir se former sur la surface de la négative et gagner peu à peu toute la masse. Si on recharge cet élément, la réduction a lieu par la surface en ramenant la teinte au gris clair ; la matière épuisée par la décharge garde donc une certaine conductibilité. La pastille négative déchargée exposée à l'air blanchit rapidement.

D'un autre côté, la variation de poids de la négative est rigoureusement proportionnelle aux ampères-heures débités, mais le nombre d'ampères-heures débités ne correspond pas au poids de plomb réduit contenu dans la plaque. Théoriquement 1 a-h devrait être produit par 3,86 gr de Pb, tandis qu'en pratique il en faut de 11 à 12 gr de plomb réduit. Une pastille négative épuisée par décharge, lavée à l'eau distillée puis brisée, ne montre dans sa cassure examinée au microscope aucune partie métallique, en écrasant avec une lame de canif, on aperçoit de petites paillettes de plomb laminé par l'acier.

De ces diverses remarques, M. Ch. Féry a conclu que la matière négative déchargée est un sous-sulfate de plomb, ou sulfate plombeux de formule SO^4Pb^2 correspondant à l'oxyde plombeux Pb^2O de couleur noire. En admettant la production de sulfate plombeux, il faudrait 7,72 gr de plomb pour produire un ampère-heure, ce qui est encore loin de ce que l'on constate en pratique, mais il faut considérer que, pendant la décharge, il y a une action locale de l'acide sur le plomb qui ne produit pas de courant. M. Ch. Féry a, par des expériences appropriées, déterminé la proportion d'acide fixée en plus de celle calculée par les ampères-heures fournis. La quantité de plomb resté inactif est très faible.

Résumé et conclusions. — D'après les expériences de M. Ch. Féry, le fonctionnement de l'accumulateur est analogue à celui d'une pile ordinaire.

11 gr de plomb sont nécessaires à la production pratique d'un ampère-heure dans le couple Planté (décharge en vingt heures), ces 11 gr se répartissent ainsi :

Plomb fournissant le courant.....	7,72 gr
id attaqué par une usure locale...	0,77
id non attaqué.....	2,51

La dépolarisation est due à la réduction d'un peroxyde Pb^2O^5 à l'état de PbO^2. A la négative il se forme, pendant la décharge, du sulfate plombeux SO^4Pb^2 présentant une certaine conductibilité tandis que SO^4Pb est un isolant.

Après avoir fait l'étude thermochimique de Pb^2O^5 et de SO^4Pb^2, M. Ch. Féry donne la formule suivante qui, d'après ses études, représente exactement le fonctionnement de l'accumulateur au plomb.

$$Pb^2 + SO^4H^2 + Pb^2O^5 \rightleftarrows SO^4Pb^2 + H^2O + 2PbO^2$$

D'après cette réaction, le poids de plomb employé sur chaque électrode est le même ; en pratique, pour une décharge de vingt heures, il n'y a environ que 70 pour 100 du plomb utilement attaqué. Le pourcentage de plomb inattaqué dépend de la grosseur des cristaux de plomb formant la masse négative, qui augmente avec le nombre de charges, ceci explique la baisse de capacité de la négative dans les vieux éléments. Les actions locales sont très vives pendant les premières heures de la décharge et semblent varier suivant une loi exponentielle.

Des expériences de M. Féry, il résulte qu'en fonctionnement normal il ne se forme jamais de sulfate de plomb SO^4Pb pendant la décharge ; ce composé ne peut prendre naissance qu'après le crochet final, à la négative par sulfatation du sulfate plombeux, ou, à la positive, lorsque la réduction profonde de la matière active peut donner lieu à des oxydes inférieurs à PbO^2. Dans ce dernier cas, ces oxydes peuvent, en effet, par l'action ultérieure de l'électrolyte, passer à l'état de sulfate normal, ces deux cas de sulfatation profonde des électrodes sont à éviter comme il est bien connu.

La nouvelle théorie de l'accumulateur au plomb, exposée par M. Ch. Féry est plus en accord avec les résultats pratiques que la théorie ordinaire de la double sulfatation et elle semble être actuellement celle qui correspond le mieux à la réalité.

H. C.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

La lampe-valve à trois électrodes

La Radiotélégraphie militaire a, durant ces dernières années, sous la direction de M. le général Ferrié, fait de nombreuses recherches sur les lampes-valves à 3 électrodes et créé, pour les besoins de l'Armée et de la Marine, des modèles d'appareils nouveaux. Les lampes à 3 électrodes, comme générateurs d'ondes, ont permis de réaliser des postes à ondes entretenues, dont l'encombrement et les puissances minimes permettent cependant des portées télégraphiques qui dépassent plusieurs centaines de kilomètres. Ces postes servent en même temps à la téléphonie sans fil qui depuis l'usage des lampes est entrée dans la pratique courante. En particulier, la téléphonie sans fil a permis à la télégraphie militaire, dès janvier 1916, de mettre en relation un avion avec la terre et, en août de la même année, deux avions ont pu échanger entre eux des conversations. Les amplificateurs à lampes ont été très largement employés tant en T. S. F. que pour la liaison par le sol (T. P. S.) réalisée pour la première fois par la radiotélégraphie militaire. L'article qui suit résume les travaux de la Radiotélégraphie militaire sur le fonctionnement des lampes. Des études postérieures indiqueront leurs principales applications.

Depuis quelques années, les lampes-valves à trois électrodes, du genre de celles qui ont été imaginées par de Forest, sont universellement employées en radiotélégraphie comme détecteurs, amplificateurs ou générateurs d'oscillations électriques. La téléphonie commence à en faire usage, car elles constituent des relais sans inertie d'une fidélité et d'une sensibilité qui ne peuvent être égalées par aucun dispositif électromécanique. Leurs remarquables propriétés en feront certainement un auxiliaire précieux pour les mesures électriques des courants de faibles intensités.

Elles ont rendu d'importants services à la télégraphie aux armées. Sous la direction du général Ferrié, les laboratoires de la Radiotélégraphie militaire ont étudié et fait construire un nombre considérable de ces lampes, qui ont été utilisées dans de très nombreux types d'appareils créés par les mêmes laboratoires pour les besoins de l'Armée et de la Marine. (1)

Lampe valve à deux électrodes. — Dès 1883, Edison a montré qu'un courant peut passer dans une ampoule vide d'air entre le filament au rouge blanc d'une lampe à incandescence et une plaque métallique portée à un potentiel plus élevé que ce filament.

Réunissons, en effet, le pôle positif d'une pile P (fig. 1) à la plaque et le pôle négatif au filament chauffé par le courant d'une batterie d'accumulateurs P' et intercalons sur le circuit qui comprend la pile P et l'espace compris, entre le filament et la plaque, un milliampèremètre G ; celui-ci nous indique l'existence d'un courant.

L'étude postérieure du phénomène d'Edison, après que la notion d'électron fut introduite dans la science, a montré que le filament incandescent émet des électrons ou grains d'électricité négative. Ces derniers sont attirés par la plaque et il en résulte un transport de charges négatives du filament à la plaque et un courant

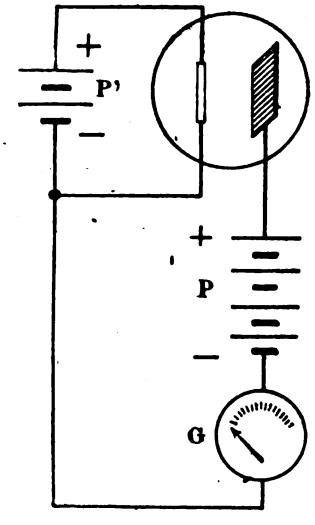


Fig. 1. — Valve à 2 électrodes.

dans le conducteur qui les réunit. Le circuit de la pile P est ainsi fermé et parcouru par un courant.

Le sens conventionnel, qu'on a l'habitude d'appeler « sens du courant », correspondrait à un transport d'électricité positive, il est inverse du sens de mouvement des charges négatives des électrons.

(1) Les auteurs des principaux travaux faits à ce sujet dans les laboratoires de la Radiotélégraphie militaire sont : MM. le commandant Brenot ; le capitaine Jouaust ; les lieutenants Beauvais et Mage ; les sous-lieutenants H. Abraham, Brillouin, Ditte, Gutton, Levy, Pelletier ; l'adjudant Laüt, les sergents M. Latour, Touly ; les caporaux et sapeurs Bignet, E. Bloch, L. Bloch, Carbenay ; l'ingénieur M. Armagnat.

Digitized by Google

Lorsqu'on augmente progressivement la force électromotrice de la pile P et, par suite, la différence de potentiel entre le filament et la plaque, l'intensité du courant croît d'abord (fig. 2) puis se fixe à une valeur constante. Ce courant constant, appelé *courant de saturation*, est atteint lorsque le potentiel de la plaque est assez élevé pour que celle-ci capte tous les électrons qui peuvent être émis par le filament.

Langmuir a indiqué que l'intensité j du courant, avant que la saturation soit atteinte, était proportionnelle à la puissance $\frac{3}{2}$ de la différence de potentiel v entre la plaque et le filament et s'exprimait par une formule de la forme,

$$j = A\ 10^{-6}\ \frac{l}{d}\ v^{\frac{3}{2}},$$

où v est en volts et j en ampères, L est la longueur du filament et d son diamètre ; des essais sur des lampes de la Radiotélégraphie militaire ont donné pour A la valeur moyenne 2,5.

Tant que le courant de saturation n'est pas atteint, le nombre d'électrons qui peut être émis par le filament est supérieur à celui qu'attire la plaque. Le filament est entouré d'électrons et l'action qu'exerce leurs charges négatives limite l'émission au nombre d'électrons qui sont enlevés par la plaque. Pour les faibles différences de potentiel entre la plaque et le filament, l'intensité du courant dépend donc de la différence de potentiel et non de la température du filament (fig. 2).

Lorsqu'au contraire le courant de saturation est atteint, tous les électrons qui peuvent être émis sont attirés vers la plaque dès leur émission. Comme leur nombre augmente beaucoup avec la température du filament, on obtient un courant de saturation indépendant de la différence de potentiel, mais d'autant plus intense que la température est plus élevée.

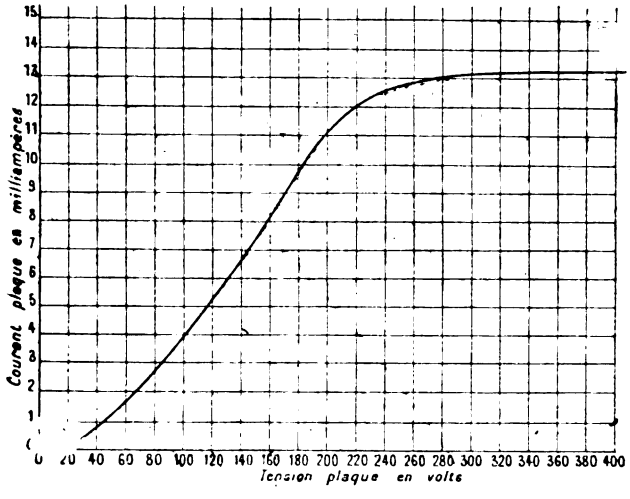


Fig. 2. — Courant en fonction de la différence de potentiel entre la plaque et le filament d'une valve à 2 électrodes.

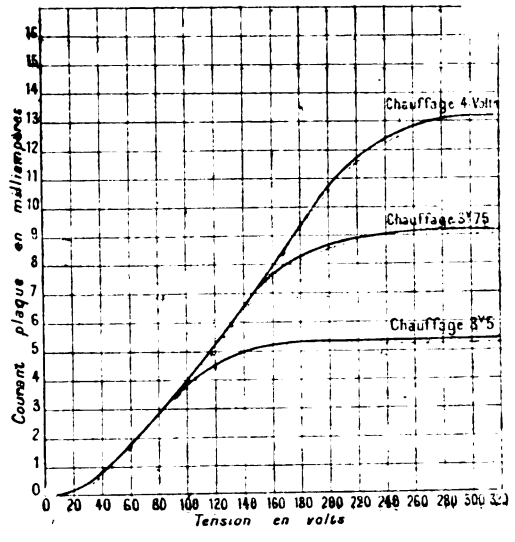


Fig. 3. — Courant entre la plaque et le filament d'une valve à 2 électrodes pour diverses températures du filament

Les courbes de la figure 3 représentent l'intensité du courant en fonction de la différence de potentiel entre la plaque et le filament pour différentes températures de ce dernier. Elles sont confondues avec la courbe qui correspond à la formule de Langmuir jusqu'au voisinage de la saturation et s'en séparent pour des différences de potentiel d'autant plus grandes que la température est plus élevée.

L'intensité du courant de saturation, qui croît beaucoup lorsqu'on chauffe plus fortement le filament, s'exprime par la formule de Richardson

$$j = a\sqrt{T}\,e^{-\frac{b}{T}},$$

où T est la température du filament, a et b des paramètres qui dépendent des dimensions et de la nature du filament.

Les données numériques, qui ont servi à construire ces courbes, ont été relevées sur des lampes dont le filament de tungstène avait une longueur de 22 mm et un diamètre de 0,055 mm.

Puisque le courant entre la plaque et le filament n'est pas proportionnel à la différence de potentiel, la lampe ne se comporte pas comme une résistance ohmique indépendante de l'intensité du courant.

Le plus souvent, on a seulement à étudier la variation très petite dj de l'intensité déterminée par une variation dv, elle-même très petite, de la différence de potentiel. Pour ces petites variations, la lampe a une résistance apparente égale à

$$\rho = \frac{dv}{dj},$$

qui est représentée, pour chaque intensité, par l'inverse des coefficients angulaires des tangentes des courbes de la figure 3. Pour des lampes de la Télé-

Digitized by Google

graphie militaire et la température du filament qui correspond à une différence de potentiel de 4 volts entre ses extrémités, cette résistance a une valeur minimum d'environ 20 000 ohms. Elle augmente beaucoup lorsqu'on approche de la saturation et atteint une valeur infinie lorsque le courant devient indépendant de la différence de potentiel.

La puissance dépensée dans la lampe, non compris celle qui correspond au chauffage du filament, est le produit du courant entre la plaque et le filament par la différence de potentiel correspondante, elle se retrouve sous forme de chaleur. Le courant d'électrons, en arrivant sur la plaque, l'échauffe et peut la porter au rouge pour un potentiel de la plaque et une température du filament suffisamment élevés.

Si, au lieu de réunir la plaque au pôle positif de la pile (fig. 1), nous la relions, au contraire, au pôle négatif, la plaque est à un potentiel inférieur à celui du filament, elle repousse les électrons et le milliampèremètre G n'indique aucun courant.

Lorsqu'on remplace la pile P par un appareil à force électromotrice alternative, une seule des deux alternances peut passer dans le circuit. La lampe à deux électrodes, plaque et filament, constitue donc une valve redresseur de courant.

Cette propriété a été utilisée par Fleming pour réaliser un détecteur radiotélégraphique, mais l'emploi des lampes-valves s'est surtout généralisé et les progrès qu'elles ont permis d'obtenir ont surtout pris une importance considérable lorsque de Forest eut l'idée d'ajouter une troisième électrode. De nombreuses recherches ont ensuite montré tout le parti qu'il était possible de tirer de la valve à trois électrodes.

Lampe valve à trois électrodes. — Entre la plaque p (fig. 4) et le filament f d'une lampe, disposons

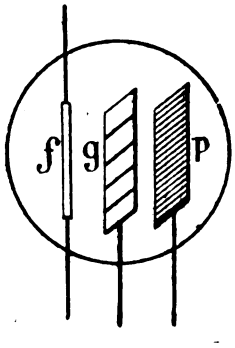


Fig. 4. — Valve à 3 électrodes.

une troisième électrode g, constituée par un cadre métallique entre deux côtés opposés duquel sont tendus des fils métalliques parallèles. Cette électrode en raison de sa forme a reçu le nom de *grille*.

La présence de la grille modifie le champ de force électrique entre le filament et la plaque et l'importance ou la nature de cette modification dépendent du potentiel auquel elle est portée. Il est possible, en faisant varier celui-ci, de changer l'intensité du champ au voisinage du filament ce qui entraîne nécessairement des changements de trajectoires des électrons et des variations de l'intensité du courant dans l'espace compris entre le filament et la plaque.

Pour modifier le potentiel de la grille, il suffit de mettre en jeu une quantité d'énergie extrêmement petite. La lampe nous fournit par suite un moyen de modifier l'intensité du courant d'une pile, même si on ne dispose, pour provoquer cette modification, que d'une minime quantité d'énergie. La valve à trois électrodes réalise ainsi un relais-amplificateur d'une sensibilité exceptionnelle.

Ce relais est aussi extraordinairement fidèle, car il ne comporte aucun organe mécanique. Son inertie est tellement faible qu'il peut suivre des variations de fréquence très élevée, aussi grande que celle des oscillations les plus rapides employées en télégraphie sans fil et même égale à celle des oscillations hertziennes.

Pour nous rendre compte du rôle de la grille, traçons, pour divers potentiels de celle-ci, les lignes de force du champ électrostatique entre les électrodes de la lampe. Maxwell a étudié, dans son Traité d'électricité et de magnétisme, des distributions électriques de ce genre. Soient (fig. 5), le filament, la plaque et les sections de deux fils d'une maille de la grille. Traçons quelques lignes de force en tenant compte du fait qu'elles aboutissent normalement aux conducteurs et vont d'un conducteur à un autre conducteur dont le potentiel est moins élevé.

Lorsque la grille est à un potentiel très inférieur à celui du filament, toutes les lignes de force, issues soit de la plaque, soit du filament, aboutissent à la grille. Aucune ligne de force n'a son origine sur le filament (I).

Lorsque le potentiel de la grille s'élève, les lignes de forces issues de la plaque s'approchent du filament et commencent à l'atteindre (II).

La grille arrivant au potentiel du filament, il n'y a plus de lignes de force entre ces deux électrodes et le nombre de celles qui atteignent le filament en venant de la plaque augmente (III).

Enfin, lorsque le potentiel de la grille dépasse celui du filament, des lignes de force issues à la fois de la grille et de la plaque atteignent le filament (IV). Des électrons sont enlevés du filament dans les régions de celui-ci où aboutissent des lignes de force et suivent ces lignes.

La présence d'électrons dans l'ampoule modifie évidemment le champ qui serait dû aux seules charges statiques des électrodes. Nous avons indiqué que, pour les courants d'intensité inférieure au courant de saturation, le filament était entouré d'une gaine d'électrons, les lignes de force issues de la plaque viennent alors se perdre dans leurs charges négatives sans atteindre la surface métallique de ce filament. S'il ne s'agit que de se rendre compte des phénomènes et non de prétendre les calculer avec une entière rigueur, les tracés de la

Digitized by Google

figure 5 nous permettent de nous rendre compte du rôle de la grille.

Lorsqu'il n'y a pas de lignes de force aboutissant au filament (I), il n'y a de transport d'électrons depuis celui-ci ni vers la grille, ni vers la plaque et, par suite, aucun courant dans des circuits qui comprennent l'espace entre le filament et la plaque d'une part, entre le filament et la grille d'autre part.

Lorsque, le potentiel de la grille étant plus élevé (II) des lignes de forces issues de la plaque atteignent le filament, un courant apparaît entre ce filament et la plaque.

Lorsqu'enfin le potentiel de la grille dépasse celui du

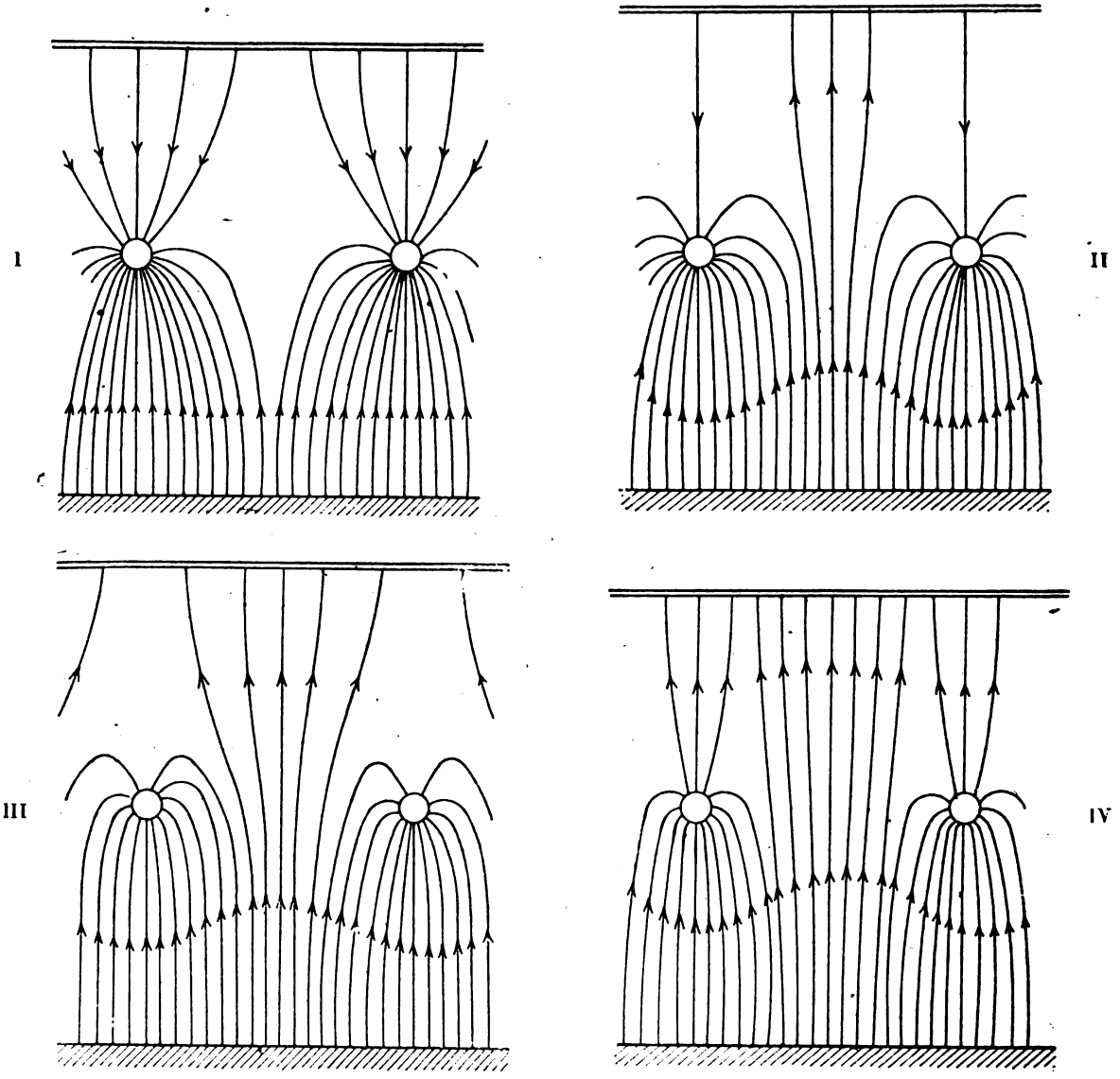


Fig. 5. — Champ électrique entre les 3 électrodes d'une valve à grille.

filament (III) des lignes [illegible] à la fois de la grille et de la plaque atteignent le filament, on obtient des courants à la fois dans les circuits de grille et de plaque. On se rend ainsi compte que des variations du potentiel de la grille modifient le courant entre la plaque et le filament. Lorsqu'on augmentera progressivement le potentiel de la grille, le courant entre la plaque et le filament augmentera d'intensité depuis zéro jusqu'à la valeur qui correspond à la saturation.

Le potentiel le long du filament n'est pas constant; de l'extrémité reliée au pôle négatif de la batterie de chauffage jusqu'à l'extrémité reliée au pôle positif, il augmente d'un nombre de volts égal à la chute ohmique de tension. Lorsqu'on augmente le potentiel de la grille, les phénomènes que nous venons de décrire ne sont donc pas simultanés en face de toutes les mailles de la grille; les courants apparaissent successivement dans toutes ces mailles.

Digitized by Google

Courbes caractéristiques de la lampe. — L'expérience confirme ces propriétés de la lampe. Maintenons constants le potentiel de la plaque et le courant de chauffage du filament et, pour des potentiels de la grille, mesurons le courant dans des circuits qui comprennent respectivement l'espace entre le filament et la plaque et l'espace entre le filament et la grille.

A cet effet, le filament étant chauffé par une batterie d'accumulateurs P′ (fig. 6), relions la plaque au pôle po-

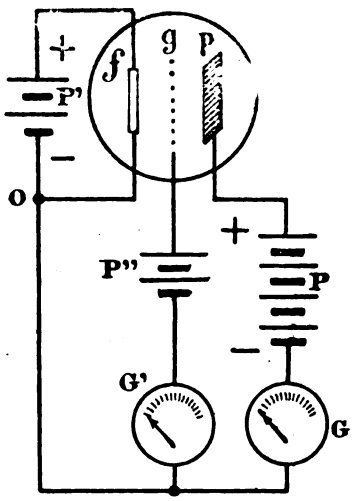


Fig. 6. — Circuit de la valve à 3 électrodes.

sitif d'une pile P et le pôle négatif au filament. Réunissons, d'autre part, la grille au filament et, pour modifier son potentiel, servons-nous d'une pile P″, dont nous changerons le sens de la polarité et le nombre d'éléments. Un milliampèremètre G mesurera le courant entre le filament et la plaque, un second milliampèremètre G′ le courant entre ce filament et la grille.

Nous constituons ainsi trois circuits, le *circuit de chauffage* P′ O f, un circuit f p P G O que nous appellerons *circuit de plaque*, un circuit f g P″ G′ O que nous appellerons *circuit de grille*.

Ces trois circuits ont un *point commun* O dont le potentiel est constamment celui de l'extrémité négative du filament; c'est à partir de ce potentiel que nous compterons les différences de potentiel.

Soit, par exemple, 150 v la force électromotrice de la pile P, c'est aussi la différence de potentiel entre la plaque et le filament.

Portons d'abord la grille, en la réunissant au pôle négatif de la pile P″, à un potentiel inférieur à celui du filament, — 25 v par exemple, nous n'observerons aucun courant dans les circuits de plaque et de grille, ce qui est d'accord avec les considérations développées précédemment (fig. 5, I).

Augmentons le potentiel de la grille en diminuant le nombre d'éléments de la pile P″; lorsque celui-ci atteint — 18 v environ, le courant dans le circuit de plaque apparaît, d'abord très faible (fig. 5, II), pour atteindre 4,5 milliampères, lorsque la pile P″ étant supprimée, le potentiel de la grille est celui de l'extrémité négative du filament (fig. 5, III). Le courant dans le circuit de grille commence alors à apparaître.

Un très faible courant entre le filament et la grille s'observe déjà, lorsque le potentiel de la grille est un peu inférieur à celui du point O, il atteint à peine un microampère lorsque ces potentiels deviennent égaux. Lorsque la grille est, en effet, à un potentiel très peu inférieur au filament, la force électrique autour de celui-ci est très faible, il est entouré, comme nous l'avons dit, d'une gaine d'électrons dont quelques-uns atteignent la grille car la force électrique qui tend à les en éloigner est extrêmement petite.

Portons maintenant la grille à des potentiels croissants supérieurs à celui du filament (fig. 5, IV). A cet effet, réunissons cette grille au pôle positif de la pile P″, dont nous augmenterons le nombre d'éléments. L'intensité du courant croît dans les circuits de grille et de plaque et, pour un potentiel de la grille de + 25 v, le courant de plaque cesse de croître, son intensité dans les conditions de l'expérience est alors 10,5 milliampères; celle du courant de grille est beaucoup plus faible et n'atteint alors que 110 microampères. La saturation est atteinte et tous les électrons qui peuvent être émis par le filament sont captés par la plaque et la grille.

Si on augmente encore le potentiel de la grille, le champ de force entre celle-ci et le filament augmente d'intensité, le courant dans le circuit de grille continue à augmenter et, comme le nombre d'électrons émis reste constant, le courant de plaque diminue.

Les courbes de la figure 7 que nous appellerons *caractéristiques de grille et de plaque* de la lampe pour le chauffage et le potentiel de plaque de l'essai, représentent les courants pour les divers potentiels de la grille. Elles sont tracées avec une échelle d'ordonnées en micro-

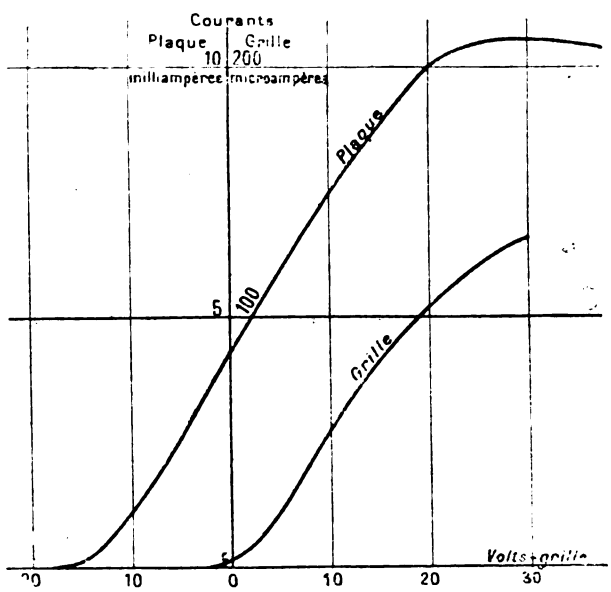


Fig. 7. — Caractéristiques de grille et de plaque.

Digitized by Google

ampères pour la caractéristique de grille et en milliampères pour la caractéristique de plaque.

La caractéristique de plaque a une longue région presque rectiligne autour d'un point d'inflexion et deux régions courbées; l'une, pour les potentiels les plus bas de la grille, tourne sa concavité vers le haut; l'autre, au voisinage de la saturation, est courbée vers le bas.

La caractéristique de grille commence par une région courbée concave vers le haut et devient ensuite à peu près rectiligne.

Influence du potentiel de la plaque sur la forme des caractéristiques. — Lorsqu'on trace les caractéristiques qui correspondent à des différences de potentiel de plus en plus élevées entre la plaque et le filament, on observe que la caractéristique de plaque se déplace sans se déformer vers les abscisses négatives.

La figure 8 représente une série de caractéristiques de

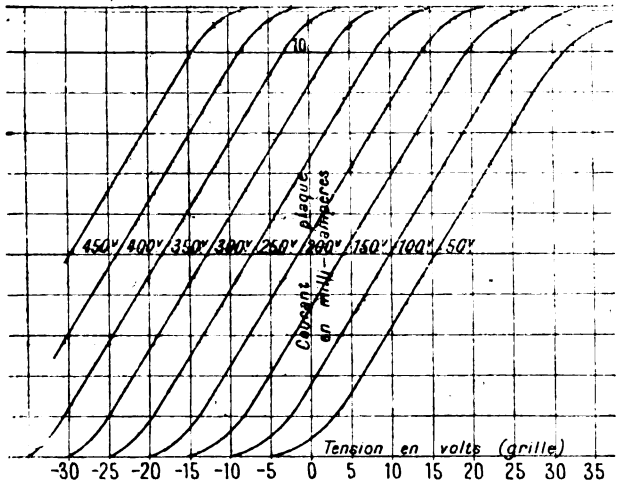


Fig. 8. — Caractéristiques de plaque pour diverses tensions de plaque.

plaque tracées pour des tensions de plaque de 50 à 450 v avec des lampes de la Radiotélégraphie militaire, la différence de potentiel entre les extrémités du filament étant 4 v.

Puisque la température du filament n'est pas modifiée, l'intensité du courant de saturation n'est pas changée. Elle dépend seulement, en effet, du nombre d'électrons émis par le filament et, par suite, de sa température, mais non du potentiel de la plaque.

Les courbes se déplacent vers les abscisses négatives pour les potentiels élevés de la plaque, parce que les lignes de force issues de cette plaque atteignent le filament pour des potentiels de la grille plus bas.

Pour des potentiels de la plaque moins élevés que ceux qui permettent d'atteindre la saturation, les caractéristiques se déforment et n'atteignent plus l'ordonnée maximum du réseau de courbes. Le réseau de la figure 8 permet de trouver pour la température correspondante du filament, le courant de plaque j en fonction de potentiels de la plaque v et de la grille u.

Les caractéristiques de grille (fig. 9) ont des ordonnées d'autant plus faibles que le potentiel de la plaque

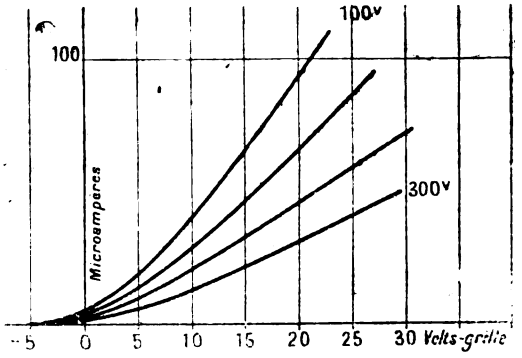


Fig. 9. — Caractéristiques de grille pour diverses tensions de grille.

est plus élevé. On diminue donc le courant dans le circuit de grille en élevant le potentiel de la plaque.

Résistance de la lampe. Facteur d'amplification. — Les courbes du réseau de la figure 8, sont à peu près rectilignes dans d'assez larges limites; d'autre part les courbes tracées pour des potentiels de plaque régulièrement croissants sont équidistantes. Dans les limites où ces conditions sont satisfaites, le courant j dans le circuit de plaque est donc une fonction linéaire des différences de potentiel v entre la plaque et le filament et u entre la grille et le filament, j est de la forme

$$j = av + bu - c.$$

Le facteur a, qui est égal à $\frac{dj}{dv}$, est l'inverse de la résistance du circuit de plaque, cette résistance étant définie comme nous l'avons indiqué plus haut. Appelons ρ cette résistance $\frac{dv}{dj}$ et écrivons la relation précédente

$$\rho j = v + ku - p.$$

Elle nous montre que le circuit de plaque se comporte comme un circuit de résistance ρ dans lequel agit une force électromotrice $v - p$, qui est celle de la tension plaque diminuée de p et une force électromotrice complémentaire ku proportionnelle à la différence de potentiel entre la grille et le filament et du même signe que celle-ci.

Une variation du du potentiel de la grille produit la même variation d'intensité du courant j, qu'une variation k fois plus grande du potentiel de la plaque. Nous appellerons donc k le *facteur d'amplification* en volts.

La variation du courant de plaque produit par une variation du du potentiel de la grille serait

$$dj = \frac{k}{\rho} du.$$

Le facteur $\frac{k}{\rho}$ est le *facteur d'amplification en ampères*.

Digitized by Google

Si, outre la résistance de la lampe, le circuit de plaque comprend une résistance extérieure à la lampe R, le facteur d'amplification en ampères devient $\frac{k}{\rho + R}$ car

$$dj = \frac{R}{\rho + R} du.$$

Le réseau de courbes de la figure 8 donne pour ρ, k et p les valeurs suivantes

$$\rho = 24\,000 \text{ ohms},$$
$$k = 10,$$
$$p = 40 \text{ volts},$$

de sorte que

$$24\,000\, j = v + 10\, u - 40,$$

j est exprimé en ampères.

Surface caractéristique de la lampe. — Pour une température donnée du filament, l'intensité j du courant dans le circuit de plaque est une fonction des différences de potentiel v et u

$$j = f(u, v).$$

Cette équation est celle d'une surface dont les sections parallèles au plan de coordonnées uj sont les courbes de la figure 8. Les sections parallèles au plan de coordonnées vj sont les courbes que l'on déduirait de ce réseau en prenant comme variables v et j.

Cette surface (fig. 10) est entièrement comprise entre

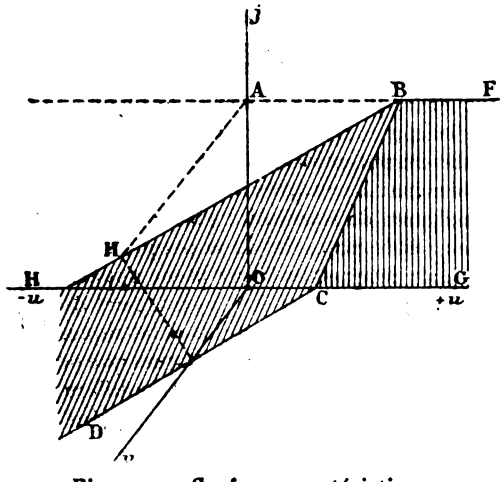


Fig. 10. — Surface caractéristique.

le plan des coordonnées u, v et un plan d'ordonnée O A égale au courant de saturation.

Elle présente une région peu courbée pour laquelle nous aurons trouvé l'équation

$$\rho j = v + ku - p,$$

et se confond avec la partie moyenne B C D E de ce plan.

Cette surface passe par l'axe o u et tend, pour des abscisses très grandes, à se confondre avec la portion F B C G du plan des coordonnées uj.

Elle se confond avec la région F B E du plan d'ordonnée égale au courant de saturation et avec la région H C D du plan des coordonnées u, v.

On peut se faire une idée de la forme de la surface caractéristique en la complétant par des surfaces courbes qui raccordent ces différentes portions de plans.

Résistance du circuit de grille. — La résistance du circuit de grille, qui intervient lors de petites variations du potentiel de la grille, est le rapport de cette variation à la variation correspondante du courant.

Cette résistance est plus grande que celle du circuit de plaque. Dans les conditions où celle du circuit de plaque est 24 000 ohms, celle du circuit de grille dans la région où, pour les forts potentiels de grille, la caractéristique de plaque est rectiligne, diminue jusqu'à 40 000 ohms. Mais cette résistance est beaucoup plus considérable aux faibles potentiels de la grille.

Lorsqu'on augmente le potentiel de la plaque, le courant de grille diminue et la résistance du circuit de grille devient plus grande.

Influence de la température du filament sur les propriétés de la lampe. — Lorsqu'on augmente la température du filament de la lampe, les formes des caractéristiques de plaque et de grille se modifient.

La caractéristique de grille commence toujours au point qui correspond à un potentiel de grille très voisin du potentiel de l'extrémité négative du filament,

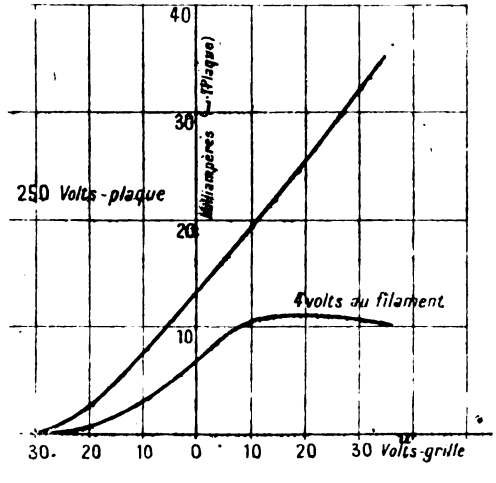


Fig. 11. — Caractéristique pour diverses températures du filament.

mais le courant de grille est d'autant plus intense que la température est plus élevée, de sorte que la résistance du circuit de grille diminue lorsqu'on chauffe plus fortement le filament.

La caractéristique de plaque (fig. 11) commence tou-

Digitized by Google

jours pour le même potentiel négatif de la grille; nous avons vu, en effet, que le début de la courbe correspond au potentiel pour lequel des lignes de force issues de la plaque commencent à atteindre le filament; la température de celui-ci doit donc être sans effet. L'élévation de température en augmentant beaucoup le nombre d'électrons qui peuvent être émis par le filament, produit une augmentation notable du courant de plaque et du courant de saturation. En échauffant plus fortement le filament, on obtient par suite une caractéristique de plaque plus inclinée. La figure 11 représente deux caractéristiques tracées en employant des lampes de la Radiotélégraphie militaire, dont la tension de plaque était 250 v, mais dont l'une est tracée pour 4 v entre les extrémités du filament et l'autre 5,5 v.

Pour ces dernières conditions de fonctionnement, le courant j s'exprime en fonction des potentiels de grille u et de plaque v par la relation

$$11\,500\,j = v + 8{,}5\,u - 100,$$

nous avions au contraire indiqué

$$24\,000\,j = v + 10\,u - 40,$$

lorsque la différence de potentiel entre les extrémités du filament est seulement 4 v.

La résistance ρ du circuit de plaque diminue et le facteur d'amplification en volts k diminue également lorsqu'on augmente la température.

Le facteur d'amplification en ampères $\frac{k}{\rho + R}$ augmente pour de faibles résistances R ajoutées sur le circuit de plaque. Il diminuerait, au contraire, pour de très grandes résistances R.

Influence du degré de vide dans l'ampoule. — Nous avons expliqué le fonctionnement de la lampe en supposant que les seules charges qui sont transportées entre les électrodes sont celles des électrons. C'est le cas des lampes dans lequel le vide a été poussé jusqu'aux plus faibles pressions. Les lampes étudiées, construites et employées par la Radiotélégraphie militaire sont très vidées et c'est leur fonctionnement relativement simple que nous avons décrit.

La présence de gaz dans l'ampoule amène la production de centres chargés positivement. Ceux-ci se forment soit lors du contact des molécules de gaz avec la plaque, soit lors de la collision des électrons et des molécules, qui fait perdre à ces dernières un électron; le reste de la molécule devient alors un centre chargé positivement. La présence d'ions positifs en nombre suffisant pour que l'ensemble de leurs charges ne soit plus négligeable vis-à-vis de celle des électrons modifie le régime de fonctionnement de la lampe.

L'ionisation augmente le nombre de centres chargés qui se déplacent dans le champ électrique. Nous avons vu d'autre part, que, dans les champs faibles, c'est-à-dire lorsque le potentiel de grille est peu élevé, le filament était entouré par des électrons, dont la charge négative limitait l'émission ultérieure d'électrons.

Les charges positives, en compensant l'effet des électrons dans cette région, augmentent au contraire l'émission.

Une lampe valve peu vidée, pour de faible potentiels de la plaque, laisse donc passer dans le circuit de plaque des courants plus intenses qu'une lampe très bien vidée. La résistance apparente du circuit de plaque est, de ce fait, diminuée et la lampe fonctionnant comme relais est plus sensible.

Si, pour une lampe peu vidée, on mesure le courant dans le circuit de grille, on constate que ce courant ne disparaît pas complètement pour un potentiel de la grille peu inférieur à celui de l'extrémité négative du filament, mais s'inverse. La caractéristique de grille a alors la forme indiquée sur la figure 12.

Ce courant inverse est dû au transport de charges

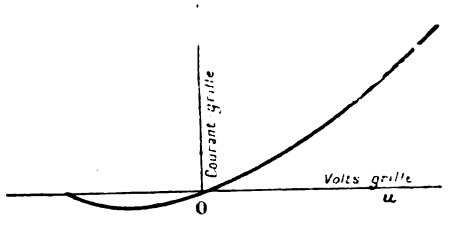


Fig. 12. — Caractéristiques de grille d'une lampe peu vidée.

positives et sa mesure permet de se rendre compte du degré de vide des ampoules.

Des lueurs bleues prennent naissance dans l'ampoule des lampes, lorsqu'on augmente beaucoup le potentiel de la plaque ou que l'on fait croître la température du filament. Ces lueurs se produisent pour des potentiels de la plaque d'autant moins élevés que la lampe est moins vidée. Lors de cette décharge, le courant entre le filament et la plaque augmente beaucoup d'intensité, mais la lampe cesse d'être sensible, c'est-à-dire que l'influence du potentiel de la grille sur l'intensité de ce courant devient à peu près nulle.

Le maximum de sensibilité est obtenu lorsque le vide de la lampe et le potentiel de la plaque sont très voisins de ceux pour lesquels la lueur bleue apparaît. Dans des cas exceptionnels il peut être avantageux de rechercher cette condition, mais, lorsqu'il faut fabriquer des lampes par grandes quantités, aussi identiques que possible entre elles, et lorsque les lampes doivent indifféremment servir à l'amplification, la détection ou la génération d'oscillations, il est beaucoup plus avantageux de vider les lampes aussi parfaitement que possible. C'est ce qui a été fait en France par la Radiotélégraphie militaire au cours de ces dernières années.

Il est, en effet, impossible dans les lampes peu vidées de conserver constamment dans l'ampoule une pression immuable. Des gaz se dégagent des électrodes lorsque celles ci s'échauffent et sont réabsorbés lorsqu'elles se refroidissent. D'autre part, l'apparition de lueurs bleues, caractéristique d'une ionisation intense, qui met la

Digitized by Google

lampe temporairement hors d'usage, dépend non seulement du degré de vide, mais encore de la température du filament et des potentiels de grille et de plaque. L'emploi de lampes peu vidées nécessite de ce fait des réglages longs, incertains et peu durables et le passage d'une décharge expose toujours à la mise hors service temporaire ou définitive de l'ampoule. La lampe très sensible, dont l'ampoule contient encore des quantités notables de gaz, ne doit par suite être recherchée que dans quelques cas exceptionnels où une sensibilité exagérée serait indispensable.

Modèles de lampes. — Nous décrirons d'abord le modèle de lampe (fig. 13) de la Radiotélégraphie militaire,

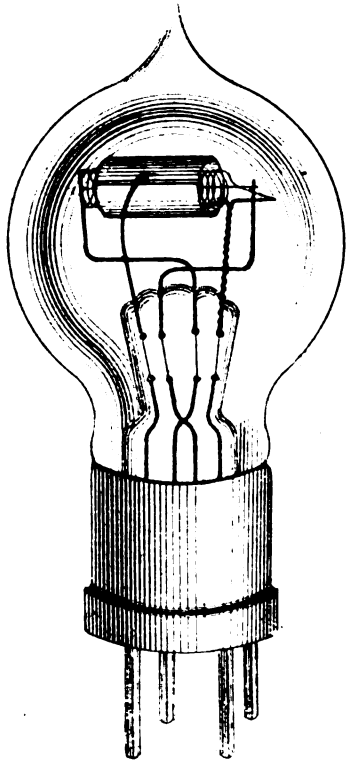


Fig. 13. — Modèle de lampe-valve de la Radiotélégraphie militaire.

qui a été employé à un nombre considérable d'exemplaires et se prête également bien à tous les usages courants.

La plaque n'est pas plane mais est constituée par un cylindre de nickel suivant l'axe duquel est tendu le filament de tungstène.

La grille est un fil de nickel ou de molybdène enroulé en hélice autour du filament entre la plaque et le filament. Les électrodes communiquent avec l'extérieur par le culot; quatre broches que l'on enfonce dans des douilles permettent de mettre la lampe en liaison avec les circuits.

Pour deux modèles peu différents et à peu près équivalents les dimensions sont les suivantes :

		Lampe Fotos.	Lampe Métal.
Plaque.	Longueur.....	1,5 cm	1,5 cm
	Diamètre	1,0 cm	1,0 cm
	Plus grande tension utilisable.	400 v env.	400 v env.
		Molybdène.	Nickel.
Grille.	Longueur.....	1,6 cm	1,9 cm
	Diamètre.....	0,45 cm	0,40 cm
	Nombre de spires	12	11
	Pas.....	0,13 cm	0,17 cm
	Diamètre du fil.	0,02 cm	0,03 cm
Filament.	Longueur.....	2,1 cm env.	2,1 cm env.
	Tension normale	4 v	4 v
	Sur tension possible	5 v à 5 5 v	5 v à 5,5 v.

Ampoule sphérique de 5,5 cm de diamètre environ.

Pour une tension de 4 v aux bornes, la température absolue du milieu du filament est d'environ 2 400°.

Les courbes de cet article correspondent à ces modèles de lampes.

Il a été également établi, par les soins de la Radiotélégraphie militaire, pour l'entretien le long des antennes d'oscillations plus intenses, des lampes plus volumineuses de construction plus robuste qui peuvent supporter, sans que l'élévation de température les mette hors d'usage, des différences de potentiel de 1 000 à 1 200 v entre la plaque et le filament.

Ces lampes ont soit deux plaques et deux grilles planes disposées respectivement de part et d'autre d'un filament en forme de V, soit, comme le petit modèle, des électrodes cylindriques.

On a employé dans la construction américaine des filaments de platine de section beaucoup supérieure qui ne sont chauffés qu'au rouge sombre, les électrons sont alors émis non par le platine, mais par un dépôt d'oxyde de baryum, qui recouvre le filament. On obtient ainsi, à température beaucoup plus basse, une plus grande émission d'électrons.

Etude des propriétés de la lampe pour de petites variations des tensions de grille et de plaque autour d'une valeur moyenne. — Nous avons décrit le fonctionnement de la lampe pour de grandes variations des tensions de grille et de plaque et montré que, dans d'assez grandes limites, les caractéristiques étaient droites. Cette étude servira lorsque, comme dans les appareils générateurs d'ondes entretenues, les potentiels des électrodes varient dans de larges limites.

Toutes les fois que la lampe sert de relais-amplificateur téléphonique, les potentiels varient très peu autour de leur valeur moyenne et il devient beaucoup plus précis d'étudier le fonctionnement de la lampe pour ces petites variations, car cette étude sera valable au moins approximativement dans les régions courbes des caractéristiques. Nous confondrons celles-ci, non plus avec la tangente au point d'inflexion de la caractéristique de

Digitized by Google

plaque, mais avec la tangente au point de fonctionnement moyen.

Soit

$$j = f(u, v),$$

la fonction qui représente le courant de plaque, v et u étant toujours les tensions de plaque et de grille et soit

$$j_0 + f(u_0, v_0),$$

le courant de plaque pour les valeurs v_0 et u_0 des tensions.

Appelons Δv et Δu des variations petites de v_0 et u_0, elles correspondent à une variation Δj du courant.

$$j_0 + \Delta j = f(v_0 + \Delta v,\ u_0 + \Delta u),$$

nous pouvons écrire, puisque Δv et Δu sont petits

$$\Delta j = \left(\frac{\partial f}{\partial v}\right)_{v_0, u_0} \Delta v + \left(\frac{\partial f}{\partial u}\right)_{v_0, u_0} \Delta u,$$

ou

$$\rho \Delta j = \Delta v + k \Delta u,$$

avec

$$\frac{1}{\rho} = \left(\frac{\partial f}{\partial v}\right)_{v_0, u_0}, \qquad \frac{K}{\rho} = \left(\frac{\partial f}{\partial u}\right)_{v_0, u_0}.$$

ρ est la résistance du circuit de plaque de la lampe pour les tensions v_0 et u_0, c'est l'inverse du coefficient angulaire de la tangente à une courbe qui, pour une tension de grille constante, représente j en fonction de v.

k est le facteur d'amplification en volts pour les petites variations de la tension grille et $\frac{k}{\rho}$ est le coefficient angulaire de la tangente à la caractéristique de plaque.

On pourrait donc déterminer k et ρ en traçant avec soin ces courbes autour du point considéré, mais ce procédé est long et peu précis. Il est possible de déterminer directement k et ρ.

Une élégante méthode a été indiquée par John Miller (1).

La figure 14 représente la disposition des appareils.

A est un petit alternateur de fréquence musicale, 500 périodes : sec par exemple, fermé sur les deux résistances sans inductance r_1 et r_2 d'un potentiomètre. Les variations de tension de grille sont celles de la tension alternative aux extrémités de la résistance r

$$\Delta u = r_1 i,$$

i étant la valeur instantanée du courant dans la résistance r_1.

Le circuit de plaque comprend la pile P de force électromotrice constante v_0, un téléphone T et la résistance r_2.

La variation de tension de plaque Δu est la variation de la chute de tension

$$\Delta v = - r_2 i',$$

le long de la résistance r_2. Elle est en sens contraire de Δu.

Ce dispositif permet de mesurer k.

La résistance R sert à la mesure de ρ lorsque l'interrupteur I est fermé. Supposons-le d'abord ouvert.

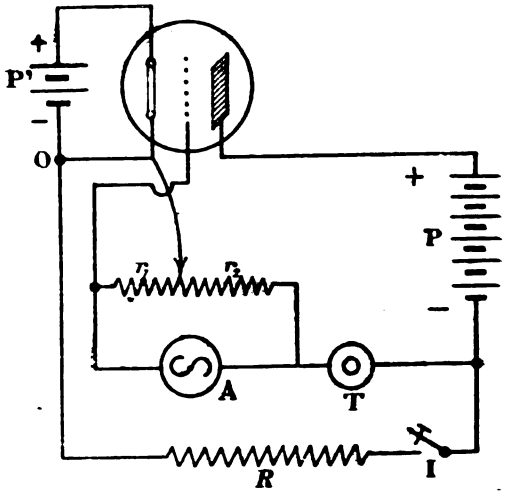


Fig. 14. — Mesure du facteur d'amplification et de la résistance d'une lampe-valve.

Réglons les résistances r_1 et r_2 de façon à amener le téléphone au silence.

$$i = i',$$

et

$$\Delta j = 0,$$

on a donc :

$$0 = - r_2 i + K r_1 i,$$

d'où

$$K = \frac{r_2}{r_1}.$$

On se sert de résistances faibles par rapport à celles des lampes par exemple, $r_1 + r_2 = 100$ ohms.

Fermons maintenant l'interrupteur I et donnons aux résistances r_1 et r_2 des valeurs constantes, différentes des précédentes, soit $r_1 = r_2 = 50$ ohms, pour lesquelles nous pouvons régler le téléphone au silence en modifiant la résistance R.

Comme le courant ne varie pas dans le téléphone

$$(\rho + R)\Delta j = k r_1 i.$$

D'autre part,

$$r_2 i = R \Delta j.$$

(1) *Proceedings of the Institut of Radio Engineers*, june 1916, t. VI, n° 3.

Digitized by Google

De ces relations on tire,

$$\rho \frac{r_2}{R} = - r_2 + k r_1,$$

$$\rho = R \left(k \frac{r_1}{r_2} - 1 \right),$$

k étant déjà déterminé, cette équation donne la valeur de ρ.

Voici quelques résultats obtenus sur des lampes de la Radiotélégraphie militaire.

Tension de plaque.	Tension de grille.	k	ρ en ohms
77 v	0 v	10	36 000
77 v	—2 v	9,5	41 000
37 v	0 v	7,5	41 000
27 v	—2 v	5,5	65 000

On voit que, pour les basses tensions de grille ou de plaque, les lampes fonctionnant dans des régions très courbées de la caractéristique, les coefficients k et ρ ne sont plus constants.

Cette méthode détermine k et ρ dans des conditions de fonctionnement pour lesquelles aucun appareil n'est intercalé sur le circuit de plaque autre qu'une résistance R sans inductance.

Ce ne sont pas les conditions d'emploi ordinaire. Lorsque la lampe sert d'amplificateur, on intercale sur le circuit de plaque soit un téléphone, soit un enroulement de transformateur téléphonique, M. A. Blondel a indiqué un moyen de déterminer l'amplification dans les conditions même d'emploi de la lampe. Ce procédé a été utilisé par M. le capitaine Jouaust et adapté à l'étude facile et précise des lampes et des amplificateurs de la Radiotélégraphie militaire.

Si on remplace, dans la méthode de Miller, la résistance R par une impédance, on introduit des forces électromotrices d'induction, les chutes de tension le long de la résistance r_2 et de cette impédance ne restent pas en phase et le procédé de mesure devient inapplicable. M. Blondel emploie, outre un potentiomètre pour régler l'amplitude de variation de la tension plaque, un variomètre de Drysdale afin de régler la phase de celle-ci.

Un petit alternateur diphasé A (fig. 15) fournit des courants à deux enroulements S exactement semblables à ceux d'un stator diphasé. Sur le noyau d'un rotor est enroulé une bobine V. La phase de la force électromotrice, induite dans cet enroulement par le flux tournant du stator, change avec la position de la bobine V et varie de 0 à 2π pour un tour entier, la valeur efficace de cette force électromotrice reste invariable.

On relie les extrémités de la bobine V à un potentiomètre; en déplaçant le curseur de celui-ci, on modifie la différence de potentiel entre les extrémités MN de la résistance potentiométrique R.

L'ensemble du variomètre et du potentiomètre permet donc de disposer à volonté de la grandeur et de la phase de cette différence de potentiel.

Soit L la lampe à étudier, P la pile de plaque, P' la batterie de chauffage du filament, B l'appareil (téléphone ou bobine de transformateur) qui, lors de l'emploi de la lampe comme relais-amplificateur devra être intercalé sur le circuit de plaque. Produisons les variations de

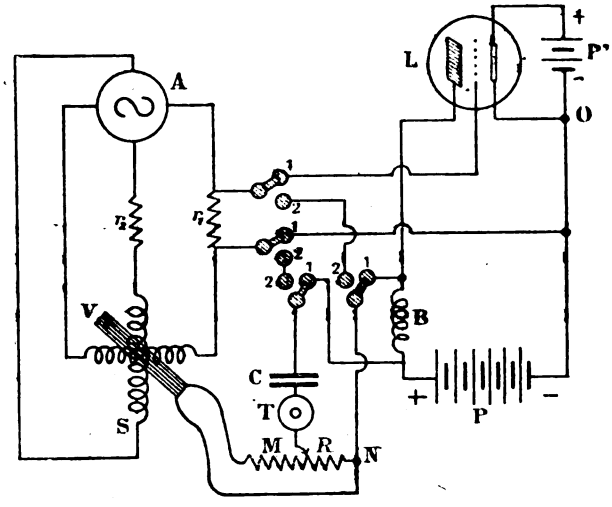


Fig. 15. — Mesure de l'amplification.

tension de grille, à amplifier par la lampe, en réunissant le filament et la grille aux extrémités d'une résistance r_1 intercalée sur l'un des circuits de l'alternateur diphasé A ; la résistance égale r_2 sur le second des circuits sert seulement à équilibrer ceux-ci.

On oppose à la différence de potentiel aux bornes

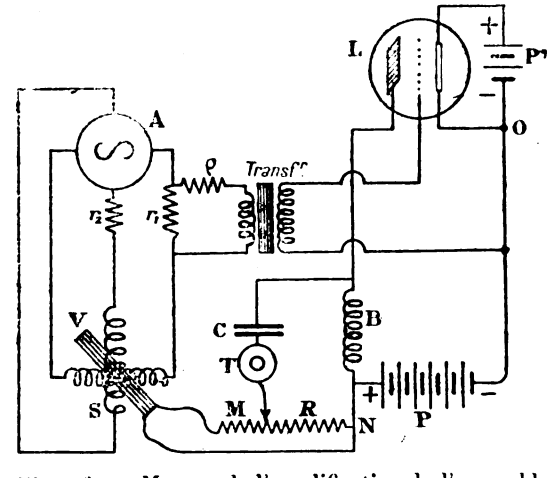


Fig. 16. — Mesure de l'amplification de l'ensemble d'une lampe et d'un transformateur.

de B, la différence de potentiel entre M et N. Un téléphone T intercalé sur le circuit reste silencieux, si la grandeur et la phase de ces différences sont égales; le variomètre et le potentiomètre permettent donc d'obtenir le silence ; soit R_1 la résistance du potentiomètre.

Le condensateur C de capacité assez grande pour que

Digitized by Google

$\frac{1}{C\omega}$ ne soit que quelques ohms, laisse passer les courants alternatifs mais empêche le passage du courant constant de la pile P dans la résistance du potentiomètre.

En mettant les commutateurs sur la position 2, on oppose directement, sans amplification, la tension aux bornes de la résistance r_1 à celle du potentiomètre; puis on règle, à nouveau, le téléphone au silence ; soit R_2 la résistance du potentiomètre. L'amplification est :

$$k = \frac{R_1}{R_2}.$$

La même méthode a été appliquée à la comparaison des transformateurs d'amplificateurs. Ces transformateurs, lorsqu'ils servent sur les amplificateurs, ont un enroulement primaire sur le circuit de plaque d'une lampe et le secondaire sur le circuit de grille d'une autre lampe et servent à transmettre des variations de tension amplifiées par la première lampe, à la grille de la seconde qui les amplifie à nouveau.

Pour comparer les transformateurs, on transmet les différences de potentiel aux bornes de la résistance r_1 (fig. 16) à la grille de la lampe par l'un des transformateurs à étudier et on met dans le circuit de son primaire une résistance ρ équivalente à celle d'une lampe, afin de se trouver dans les conditions d'emploi du transformateur.

Par le variomètre de phase et le potentiomètre, on équilibre la tension aux bornes de B. La valeur trouvée pour la résistance R du potentiomètre est proportionnelle à l'amplification par le transformateur et la lampe.

C. GUTTON,
Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.

Revues, analyses et informations

Augmentation du rendement des ateliers par l'amélioration de l'éclairage.

Depuis quelques années, non seulement les chefs d'usines, mais encore les administrations compétentes ont mis à l'ordre du jour de leurs préoccupations la révision des conditions actuelles de l'éclairage des ateliers. Nous avons indiqué dans la « Revue générale de l'Electricité », du 24 mars 1917, t. 1, page 461, l'enquête confiée, par le ministre de l'Intérieur anglais, à une Commission dont le travail a eu pour conclusion l'élaboration d'un certain nombre de lois et règlements sur l'éclairage artificiel des ateliers. En Amérique où l'art de l'éclairage est toujours en voie d'améliorations, la subordination du rendement du travail aux conditions de l'éclairage des locaux industriels a été aussi l'objet d'un contrôle qui s'est exercé sur 93 usines occupant 17 400 employés et dont la charge lumière globale atteint 1 410 kw. Dans une communication à l'Illuminating Engineering Society, William A. Durgin a fait connaître les résultats obtenus par les ingénieurs de la Commonwealth Edison Company (1).

L'éclairement moyen adopté est de 16,12 lux avec un minimum de 0,1076 lux et un maximum de 107,6 lux. La consommation moyenne est de 2,97 w par mètre carré et 80 w par employé. Or, pour toutes ces usines, les règlements de la I. E. S. imposeraient un éclairement moyen de 60 lux, soit 3,66 fois le taux actuel ; suivant les emplacements, l'éclairement devrait varier entre 21,52 à 226 lux avec une consommation moyenne de 9 w par mètre carré et 2,50 w par employé.

Les comparaisons entre les résultats donnés par différents systèmes d'éclairage ne sont pas une opération aussi facile qu'on se l'imagine à première vue. Les ingénieurs de la Compagnie Edison ont réparti leurs essais sur une période de 4 mois, d'après le programme suivant. Le premier mois, l'éclairage fonctionne avec l'équipement existant ; le deuxième mois, avec un équipement capable de donner un éclairement de 50 pour 100 plus élevé que le maximum prescrit par la I. E. S. ; le troisième mois, on travaille avec l'éclairage minimum du code de la I. E. S., ce que l'on considère aujourd'hui comme une bonne pratique et, enfin, le quatrième mois, on revient au régime intensif ou « régime productif ». L'usine doit tenir un registre très exact de sa production et un faible pourcentage du travail doit être exécuté de nuit; mais il est difficile de trouver une usine dotée d'un système de contrôle convenable et qui consente, au bout d'un deuxième mois, à renoncer aux avantages d'un bon éclairage pour reprendre un régime moins intense.

Jusqu'ici 11 usines se sont ralliées à l'idée de l'intensification de l'éclairage pour la production et ont fait l'acquisition de l'équipement correspondant. L'une d'elles, qui fabrique des coussinets anti-friction, a été contrôlée pendant deux mois seulement ; on a constaté, pendant le mois où elle a fonctionné à l'éclairement intensif de 130 lux, une plus-value de 8 à 27 pour 100 sur le mois précédent où l'éclairement utilisé n'était que de 43 lux. Dans les deux essais on s'était servi de la même installation de lampes à incandescence qui étaient munies de réflecteurs en cupule. Le directeur de l'usine a été tellement impressionné par les résultats, qu'il a immédiatement étendu aux autres étages de l'établissement le système qui avait donné un si beau rendement. Il n'a pas été possible non plus de pousser les essais à fond dans la deuxième usine inspectée parce que la comparaison portait sur un dispositif de lampes nues à remontage, d'une part, et une bonne installation pourvue de réflecteurs convenablement choisis. Ce dernier équipement a élevé la production de 30 jusqu'à 100 pour 100 pour les multiples opérations d'un atelier dans lequel la commande par poulies tient une large place. Ici encore la Direction a fait un accueil des plus favorables à cette innovation dans l'éclairage. Pour les neuf autres usines, les ingénieurs ont seulement pu noter un accroissement moyen de 15 pour 100 dans la production alors que les frais supplémentaires atteignaient à peine 5 pour 100.

(1) *Electrical World*, 7 décembre 1918, t. LXXII, p. 1073-1074, 1 400 mots, 2 fig.

Digitized by Google

En général, partout où une transformation parfaite ne peut pas être réalisée de suite, il y aura un avantage marqué à employer les dispositifs suivants :

1° Lampes à incandescence à atmosphère gazeuse de 200, 300 et 500 w, avec réflecteurs en acier et écrans protecteurs contre l'éblouissement.

2° Lampes à incandescence à atmosphère gazeuse et réflecteurs en forme de cupules très profondes pour les grandes hauteurs.

3° Lampes à incandescence à vide et même habillage que ci-dessus pour les lampes à remontages par corde.

La plus recommandable de ces trois unités est la lampe de 300 w; elle a un rendement de 84 pour 100, une brillance maximum de 7 500 millilamberts (2,4 b : cm²) à l'intérieur de l'anneau protecteur et s'adapte très bien aux équipements actuels. Dans beaucoup d'usines la réfection du câblage est maintenant possible; pour d'autres une telle transformation est discutable. Mais avec cette lampe, dont le maximum d'intensité se présente à 50° de la verticale, il est très facile d'obtenir un éclairement uniforme en espaçant les unités de 4,2 à 4,8 m, à des hauteurs variant de 3 à 4,8 m.

Si l'on dispose de plus grandes hauteurs encore, soit 3,6 à 5,4 m au dessus du plancher, on utilisera des lampes de 500 w distantes de 6 m; dans ces conditions, la lumière est parfaitement diffusée et l'éclairement bien uniforme. Ce modèle a un rendement de 77 pour 100 et une brillance de 2 300 millilamberts (0,73 b : cm²).

Ces retouches ne constituent pas, évidemment, un éclairage industriel idéal; toutefois, sans d'importants changements dans le réseau intérieur, elles permettent de se rapprocher instantanément de l'éclairage intensif pour la production avec un équipement bon marché qui fonctionnera toujours dans des conditions identiques jusqu'à sa destruction.

Distribution et tarification du courant électrique pour le chauffage.

La pénurie de gaz d'éclairage qui s'est fait sentir dès les premières années de la guerre a conduit, en Suisse, à employer de plus en plus l'électricité pour la cuisine et, dès lors, on s'est occupé d'en réglementer la distribution et le tarif pour cet usage. Par la suite, le manque de charbon a rendu d'actualité l'emploi de l'énergie hydro-électrique pour le chauffage.

La Commission de l'Association suisse des Electriciens a publié récemment (1) un rapport sur les conditions dans lesquelles se ferait cet emploi.

La distribution d'énergie électrique pour le chauffage a également des adversaires et des partisans, les premiers étant parmi les producteurs, les seconds parmi les consommateurs. Si, en effet, le public voit surtout les commodités qui en résulteraient pour lui et croit à une abondance d'énergie inépuisable, le spécialiste connaît les difficultés techniques et économiques que présente une pareille exploitation.

Les forces hydrauliques doivent, en effet, être employées d'abord sous les formes d'énergie les plus coûteuses à réaliser par un autre mode; ce n'est que lorsqu'on a entièrement satisfait aux besoins de celles-ci qu'on peut envisager l'alimentation d'autres formes d'énergie relativement moins chères et de moindre valeur. A ce point de vue, on peut classer comme suit les divers besoins de l'industrie : lumière, énergie mécanique, cuisine, chauffage, électrochimie.

En Suisse, les forces hydrauliques peuvent fournir toute l'énergie nécessaire au pays pour la lumière et la force motrice et, en outre, une assez grande quantité pour l'électro-chimie et le chauffage, mais elle ne suffirait pas, il s'en faut de beaucoup, pour suppléer à tout le combustible importé.

Les considérations économiques relatives à l'utilisation de l'énergie hydraulique pour le chauffage sont, dans l'ensemble, plutôt défavorables et cela pour deux raisons : 1° à cause du peu de valeur de l'énergie sous forme de chaleur; 2° parce que les forces hydrauliques sont minima en hiver, au moment où le chauffage est utilisé. Cependant, si l'on veut étudier avec soin les conditions techniques de cette utilisation, elle est à recommander non seulement maintenant mais encore pour l'avenir. Son importance est, en effet, devenue considérable par suite de l'augmentation de prix du combustible, augmentation qui amoindrit singulièrement la première difficulté. La seconde pourra être réduite par une exécution appropriée et des procédés techniques perfectionnés (accumulation de chaleur).

La distribution du courant de chauffage doit d'abord être adaptée aux régimes des saisons. Cette adaptation est malheureusement limitée aux mois de transition (printemps, automne). En outre, il y a lieu de considérer l'adaptation aux heures de la journée. L'emploi de la puissance de nuit pour le chauffage (avec, si possible, adjonction de l'heure de midi généralement peu chargée) apparaît comme le plus avantageux. Il ne faut évidemment pas que cette utilisation se fasse aux dépens des autres besoins : lumière et force motrice et surcharge exagérée des réseaux.

On peut actuellement chauffer sans inconvénients des locaux à l'aide du courant de nuit. L'accumulation de chaleur se fait de différentes manières; elle n'exige pas toujours des appareils de construction spéciale. Les usines, bâtiments administratifs, etc., peuvent être chauffés par courant de nuit avec emmagasinement naturel de la chaleur par les parois. On peut aussi adjoindre au chauffage central à eau une chaudière à accumulation isolée calorifiquement ou un serpentin réchauffeur à huile. Le chauffage par courant permanent est plus commode à réaliser; il permet l'obtention d'une température rigoureusement constante; comme, d'autre part, la distribution de nuit se fait pendant 1/3 de la journée, la puissance à fournir pendant vingt-quatre heures en chauffage permanent sera le tiers de celle qui est nécessaire pour le chauffage nocturne seul. Cependant, le chauffage permanent n'est recommandable qu'exceptionnellement parce qu'il tend à augmenter les pointes en hiver.

L'utilisation pour le chauffage des réseaux de distribution actuels pourra être organisée de la manière suivante :

Les grandes installations, chauffage central de maisons ou d'usines, devront être rattachées aux réseaux généraux de force motrice.

Les installations par radiateurs indépendants avec réservoirs seront connectées aux réseaux généraux dits d'éclairage, avec limiteurs de courant et compteurs à tarifs multiples.

Les distributions à courant permanent et les distributions exceptionnelles « à volonté » seront rattachées aux réseaux de force motrice.

L'étude est complétée par la question des tarifs. Celle-ci doit être évidemment subordonnée au prix de revient du chauffage par les moyens en usage.

En définissant le rendement d'un système comme le rap-

(1) *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, janvier 1919, t. x, p. 1-13, 7500 mots.

Digitized by Google

port de l'énergie cédée par le radiateur à la pièce à l'énergie totale dépensée pour le chauffage, le rendement du chauffage électrique est évidemment de 100 pour 100. Pour le meilleur chauffage central, il n'est que de 60 pour 100 et pour les poêles ordinaires, il tombe à 15 pour 100. Donc un kilogramme de charbon qui équivaut théoriquement à 7 ou 8 kw-h ne donne pratiquement que de 1 à 5 kw-h, suivant le système de chauffage. On voit donc qu'avec l'augmentation considérable du prix des combustibles, l'énergie hydraulique peut lutter avec le chauffage au charbon. Le prix du kilowatt-heure est naturellement différent suivant le mode de distribution (nocturne ou permanente). Ces tarifs oscillent encore dans de larges limites et une unification serait à souhaiter dans l'intérêt général.

M. D.

Pouvoir réflecteur du tungstène et de la stellite (1).

Dans une étude antérieure, les auteurs ont montré que le tungstène, comme tous les métaux purs, avait un pouvoir réflecteur très faible dans la région visible du spectre. En réunissant par une courbe continue les points donnant le pouvoir réflecteur en fonction de la longueur d'onde, ils avaient bien remarqué que, vers 0,8μ, les points présentaient un grand écart avec l'ensemble des observations, mais ils pensaient que cette anomalie ne pouvait provenir que d'erreurs expérimentales. La courbe de répartition de l'énergie du spectre du tungstène étudiée par la suite présentait, dans la même région, une différence marquée avec les autres observations, c'est-à-dire un ventre auquel devait correspondre un affaissement dans la courbe des pouvoirs réflecteurs. Il fallait donc procéder à de nouvelles expériences pour élucider ces particularités; c'est l'objet de la présente communication.

Les auteurs ont constaté que, effectivement, le pouvoir réflecteur du tungstène croît régulièrement depuis les plus faibles longueurs d'onde jusqu'à 0,7μ; il décroît ensuite avec un minimum à 0,8μ; croît de nouveau pour éprouver un nouveau minimum à 1,3μ; à partir de ce point, l'augmentation est continue et le pouvoir réflecteur atteint son maximum 95 pour 100 à 6 μ. Ces résultats sont d'accord avec ceux donnés par les mesures de la répartition de l'énergie dans le spectre de tungstène, la courbe de répartition présentant des maxima là où la courbe des pouvoirs réflecteurs indique des minima. D'autre part, le problème du pouvoir réflecteur du tungstène est d'une importance considérable dans la question du rendement lumineux des lampes à incandescence : ce rendement augmente d'autant plus que la substance employée a un pouvoir réflecteur plus élevé dans l'infra-rouge, plus faible dans le spectre visible et supporte une plus haute température. La présence du minimum à 0,8μ pour le pouvoir réflecteur du tungstène place ce métal dans une situation désavantageuse au point de vue du rendement lumineux.

La stellite est un alliage de chrome, cobalt et molybdène, fabriqué par les Stellite Works de Kokomo, Indiana (E.-U.). Elle ne se détériore pas à l'air et semble, par conséquent, propre à la fabrication des miroirs concaves. Son pouvoir réflecteur passe brusquement de 30 pour 100 à 0,15μ à 50 pour 100 à 0,6μ; il croît ensuite régulièrement jusqu'à 87 pour 100 à 8μ.

(1) W. Coblentz W.-B. Emerson. *Bulletin of the Bureau of Standards*, 17 juin 1918, t. XIV, n° 8, p. 307-316, 5 fig.

L'industrie du zinc électrolytique en Australie.

Pour répondre au désir du gouvernement australien de développer l'exploitation des ressources minières du pays, l'Electrolytic Zinc Company of Australasia a remis au premier ministre du Common Wealth un mémoire résumant la situation actuelle de l'industrie du zinc et des industries dérivées. Nous en extrayons les renseignements suivants.

L'Empire britannique, bien que possédant la plus grande partie des minerais de zinc du monde, ne produisait avant la guerre que 40 000 t de zinc, soit le cinquième environ de la consommation du Royaume Uni seul. L'Australie, riche en gisements, exportait annuellement une quantité de minerais de zinc équivalant à 200 000 t de métal.

L'énorme demande de zinc très pur que suscitèrent les besoins des armées alliées ayant donné lieu à un rapide développement des procédés électrolytiques d'extraction du zinc au Canada et aux Etat-Unis, les Australiens se préoccupèrent d'utiliser ces procédés. Dès que l'on put disposer en Tasmanie d'une puissance hydro-électrique suffisante, l'Amalgamated Zinc Company commença des recherches en vue de leur application et fonda dans ce but l'Electrolytic Zinc Company of Australasia à laquelle vint bientôt se joindre la Zinc Corporation Limited.

A la suite de ces recherches, la construction d'une usine à Risdon, près de Hobart, fut entreprise en janvier 1917. Dès mars suivant, une petite unité était en fonctionnement et peu après on mettait en marche la première des grandes unités, capable de fournir 10 t de zinc par jour, et qui depuis a continuellement fonctionné. Les résultats obtenus jusqu'ici ont donné toute satisfaction et, en particulier, ont montré qu'il est possible d'obtenir avec les minerais australiens le zinc très pur qu'exige la fabrication des munitions de guerre.

Le zinc trouve d'ailleurs en Australie des applications immédiates et assez importantes : précipitation de l'or des solutions de cyanure, galvanisation des tubes de chaudières à vapeur, confection des toitures et gouttières, etc. De plus le traitement que l'on fait subir au minerai donne comme sous produit de l'acide sulfurique pour la fabrication duquel l'Australie n'aura plus à importer du soufre ou des pyrites; rien qu'à Broken Hill on fabrique actuellement 100 t d'acide par semaine par le grillage des minerais qui sont ensuite expédiés à Hobart; on étudie d'ailleurs les moyens d'effectuer ce grillage dans d'autres centres industriels où l'acide sulfurique trouvera des débouchés locaux.

Les dépenses engagées par l'Electrolytic Zinc Company dépassent déjà 7 500 000 fr; l'installation de nouvelles unités de production et la création d'industries connexes en entraîneront d'autres très importantes. Parmi ces industries connexes on envisage celle de l'oxyde de zinc et du lithopone, lequel est un mélange de sulfure de zinc et de sulfure de baryum. L'oxyde de zinc que l'on obtient est en effet très pur et convient parfaitement pour la fabrication des émaux et des articles en caoutchouc blanc. Le lithopone trouve également un emploi étendu dans cette dernière fabrication et l'on installe pour sa production une usine permettant d'obtenir journellement 100 000 kg de ce produit.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Revues, analyses et informations

La vie chère et le relèvement des salaires.

Dans un article récemment paru (1), MM. R. Dubs et B. Grämiger ont examiné mathématiquement le problème de la cherté de la vie et en particulier la relation de celle-ci avec le niveau des traitements, en comparant les situations respectives de l'été 1918 et des années 1913 et 1914. L'intérêt actuel du sujet nous engage à donner ci-dessous une analyse de cette étude.

I. — Si on désigne par P^i_{14} le prix d'un article ou le prix moyen d'une classe d'articles analogues i en 1913-1914, par P^i_{18} le nouveau prix en 1918, le *renchérissement unitaire* de cet article ou de cette classe en 1918 sera, en centièmes,

$$t^i_{18} = \frac{P^i_{18} - P^i_{14}}{P^i_{14}} \times 100.$$

Le traitement en 1913-1914 étant G_{14}, la dépense en centièmes de ce traitement pour l'article i sera, cette même année

$$g^i_{14} = \frac{A^i_{14}}{G_{14}} \times 100,$$

Si A^i_{14} représente le montant absolu de la dépense en 1913-1914 pour l'article i.

Lorsqu'on a à distinguer k articles ou classes, la condition

$$i \, \Sigma^i_a \, (g^i_{14}) = 100$$

doit être remplie.

La plus value en centièmes, en 1918, pour une même consommation sera appelée *renchérissement spécifique* pour l'article i

$$0^i_{18} = \frac{1}{100} \, g^i_{14} . t^i_{18}.$$

Le *renchérissement global* rapporté au traitement sera

$$\tau_{18} = i \Sigma^i_a \, (0^i_{18}).$$

II. — Cette partie de l'étude comprend : 1° La recherche des frais moyens d'entretien pour les différents traitements *avant* la guerre (g^i_{14}); 2° la recherche du renchérissement unitaire t^i_{18}; 3° le calcul du renchérissement spécifique 0^i_{18} et du renchérissement global τ_{18}.

Pour déterminer les frais d'entretien en 1914, on s'est basé sur les données d'un groupe d'employés de toutes catégories dans une usine de Zurich, soient 43 ménages.

En premier lieu on a porté en ordonnées les diverses valeurs de A_{14} en fonction du salaire Pour cela on a séparé 3 catégories relativement à l'état des familles, à savoir

Ménages sans enfants (courbe ——),
Ménages avec 1 enfant (courbe – – –),
Ménages à plus de 3 têtes (courbe ——).

(1) *Schweizerische Bauzeitung*, 18 janvier 1919, t. LXXIII, p. 19-23.

Les courbes de la figure 1 rendent compte des résultats principaux de cette première partie, à savoir les valeurs de g^i_{14} rapportées aux traitements.

L'étude des renchérissements unitaires t_{18} a conduit aux résultats suivants :

Denrées alimentaires	145	pour 100
Logement	10	id.
Vêtements, chaussures, linge	105	id.
Chauffage, cuisine, éclairage	285	id.
Gages et matériel de nettoyage	280	id.
Livres, journaux, etc.	10	id.
Médecin et pharmacie	30	id.
Fournitures diverses	70	id.
Impôts	30	id.
Frais d'instruction	20	id.
Argent de poche, distractions, voyages.	43	id.

L'article alimentation a fait l'objet d'une étude particulière résumée dans le tableau I.

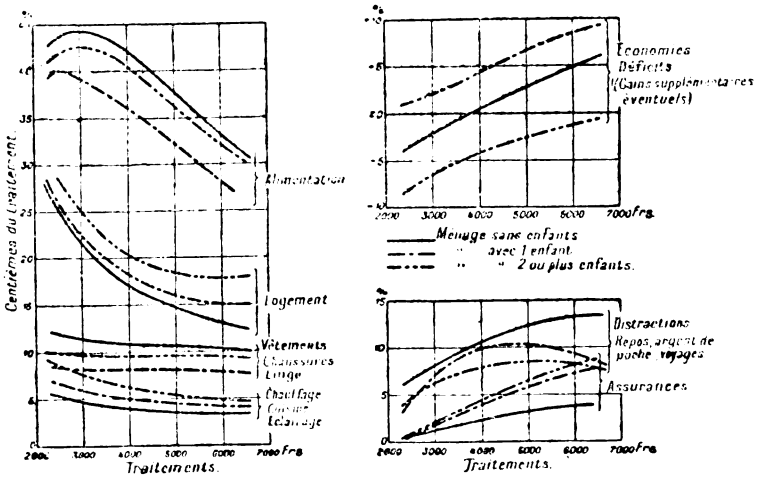


Fig. 1. — Courbes des principaux renchérissements unitaires $_{18}$.

Vient ensuite l'étude des frais d'entretien en 1913-1914. Il est intéressant de remarquer que pour les articles les plus importants tels que : alimentation, vêtements, plaisirs, etc., c'est la catégorie sans enfants qui dépense le plus.

Les courbes « alimentation » passent par un maximum dans la région 2 600 à 3 000 fr. Remarquons encore que les courbes « économies », surtout pour les familles à plusieurs enfants, tombent dans le domaine négatif. Ces déficits sont couverts par les gains supplémentaires, gains de la femme, etc. La courbe des loyers en centièmes présente un minimum très net (au moins pour les familles nombreuses) qui a lieu pour un traitement d'environ 6 000 fr. Les courbes τ_{18} montrent ce fait, auquel on pouvait s'attendre

Digitized by Google

Tableau I.

	CENTIÈMES de la dépense globale en 1914	RENCHÉRISSEMENT absolu en centièmes	RENCHÉRISSEMENT en % des frais d'alimentation en 1914 en centièmes
Pain, farine	13,7	121	16,6
Viande (non compris le porc)	23,1	128	29,6
Lait	17,0	63	10,7
Beurre, fromage, etc.	9,5	250	23,7
Œufs	3,8	360	13,7
Légumes	8,1	230	18,6
Pâtes, riz, maïs	8,3	125	10,3
Fruits	6,3	197	12,4
Divers	10,2	100	10,2
Total	100		145,8

que le renchérissement en centièmes diminue assez vite lorsque le traitement augmente, la diminution étant d'environ 6 pour 100 par 1 000 fr.

III. — Une autre partie porte sur l'utilisation des résultats obtenus comme base d'une règle pour le relèvement des traitements.

On fait encore remarquer que la tentative a été faite de suivre l'influence des restrictions dans l'économie générale. A côté des restrictions proprement dites, c'est-à-dire une plus faible consommation des denrées, il faut encore observer l'adaptation à la situation nouvelle.

Il est incontestable que la possibilité des restrictions est d'autant plus grande que le traitement est plus élevé.

On développe dans la suite un projet fondé sur ce qui précède et s'appuyant sur les courbes de renchérissement global τ_{18} ou τ_i.

En considération des intérêts des deux parties, employeur et employé, ainsi que de l'instabilité de la situation actuelle, il serait bon de partager les augmentations en : 1° Un relèvement de traitement durable, tenant compte de la dépréciation durable de l'argent; 2° une prime de vie chère, mesure exceptionnelle qui dépendra de la situation de famille et du nombre d'enfants.

Cette prime de vie chère a le caractère d'une aide des classes riches envers les plus pauvres et n'a par suite rien à voir avec les services rendus par l'employé. On a pris comme base les nombres suivants :

$g_1 = 360$ fr par an pour les célibataires,
$g_2 = 600$ id. pour les ménages,
et 120 id. par enfant au-dessous de 18 ans.

G étant le traitement au 1er juillet 1914, l'augmentation sera en centièmes du traitement.

$$Z_1 = \frac{36\,000}{G} \text{ pour les célibataires,}$$

$$Z_2 = \frac{60\,000}{G} \text{ pour les ménages sans enfants, etc.}$$

Pour déterminer la hausse définitive des traitements, on se servira des courbes donnant τ_i (fig. 2). La courbe τ_2 (eff) des ménages sans enfant étant remplacée par celle qu'on obtient en retranchant la quantité correspondant à un enfant de la courbe des familles à un enfant, on a les trois équations.

$$\tau_2 = \frac{1\,220\,000}{G + 12\,000} \text{ (ménage sans enfants),}$$

$$\tau_3 = \frac{1\,420\,000}{G + 12\,000} \text{ (ménage avec 1 enfant),}$$

$$\tau_4 = \frac{1\,620\,000}{G + 12\,000} \text{ (ménage avec 2 enfants),}$$

hyperboles ayant même asymptote verticale d'abscisse $G = -12000$.

Il reste à choisir pour le relèvement des salaires une

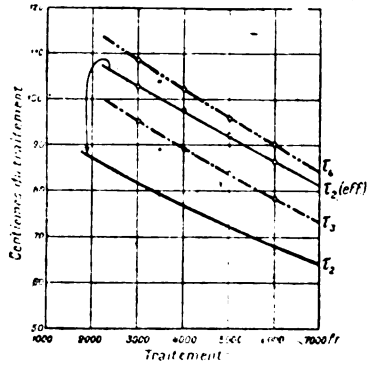


Fig. 2. — Renchérissement global τ_{18}.
τ_2 (eff.), ménages sans enfants ; τ_3, ménage avec 1 enfant ; τ_4, familles à plus de 3 personnes.

fonction qui respecte les conditions énoncées et reste valable jusqu'aux limites.

On a pris

$$Z(G + a) = b.$$

On déterminera a et b de manière que, y compris Z (prime de vie chère), on ait au minimum de traitement une pleine compensation de τ_i et que, pour les traitements plus élevés, on ait une diminution de Z. Cette diminution représente la part apportée par ces catégories plus fortunées pour surmonter la difficulté des temps.

Cependant il ne faut pas, comme il est arrivé quelquefois, que ces employés supérieurs soient privés d'augmentation. C'est une grave faute qui tendrait à diminuer la production et amènerait la régression de notre développement général.

IV. — A titre d'exemple, les emplois municipaux du canton de Zurich donnent les chiffres suivants

$Z = 50$ pour 100 pour $G = 2\,000$ frs,
$Z = 20$ pour 100 $G = 10\,000$ frs.

D'où

$$a = 3{,}333 \quad \text{et} \quad b = 266\,666.$$

D'où la fonction

$$Z \text{ pour } 100 = \frac{266\,666}{G + 3{,}333}$$

Digitized by Google

hyperbole coupant l'axe de Z au point $Z = 80$ pour 100. C'est la valeur limite théorique pour $G = 0$.

L'équation de la hausse absolue de traitement est

$$Z.G = \frac{266\,666}{G + 3{,}333}\ G = \Delta G.$$

L'asymptote horizontale a pour ordonnée $\Delta G = 2666{,}66$. C'est la hausse maximum.

Pour les employés entrés en fonctions depuis la guerre

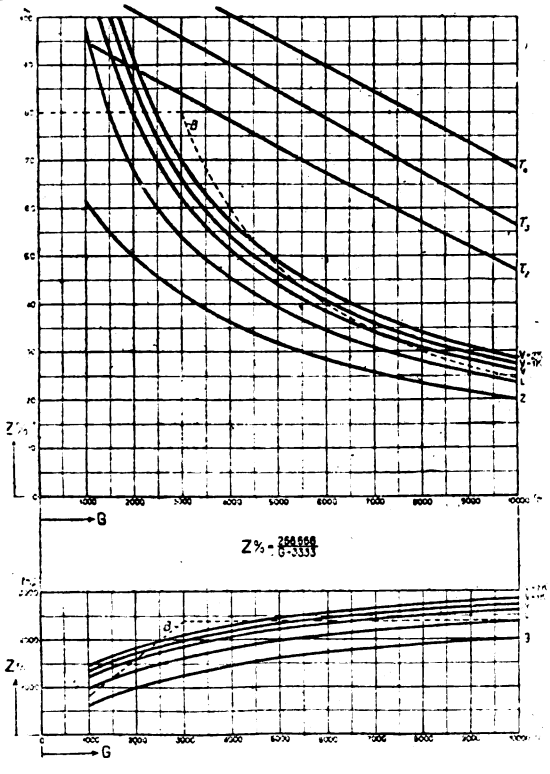


Fig. 3. — Projet de la commission des Ingénieurs et Architectes zurichois pour le relèvement des traitements, en haut en centièmes du traitement, en bas en valeur absolue.

G., traitement au 1er juillet 1914 ; g et Z, relèvement définitif ; au-dessus les primes de vie chère jusqu'à L pour les célibataires, V ménage sans enfants ; V+1K avec 1 enfant, etc. —

avec des traitements déjà relevés, l'augmentation doit être diminuée dans les rapports suivants

Jusqu'en juillet	1915	90	pour 100
Id.	1916	80	Id.
Id.	1917	70	Id.
Id.	1918	60	Id.

V. — Vers la fin de l'année dernière, diverses conférences tenues à Berne ont fixé comme suit la détermination des primes de vie chère.

1° Traitements inférieurs à 3 000 fr avant août 1914, augmentation de 80 pour 100 ;

2° Traitements supérieurs à 3000 fr avant août 1914, augmentation de 2 400 fr par an ;

3° Les augmentations accordées depuis août 1914 entrent en compte dans les primes de vie chère.

Cette convention favorise surtout les jeunes gens célibataires ; elle apparait comme tout à fait impraticable.

On peut voir sur la figure 4 où conduirait une telle organi-

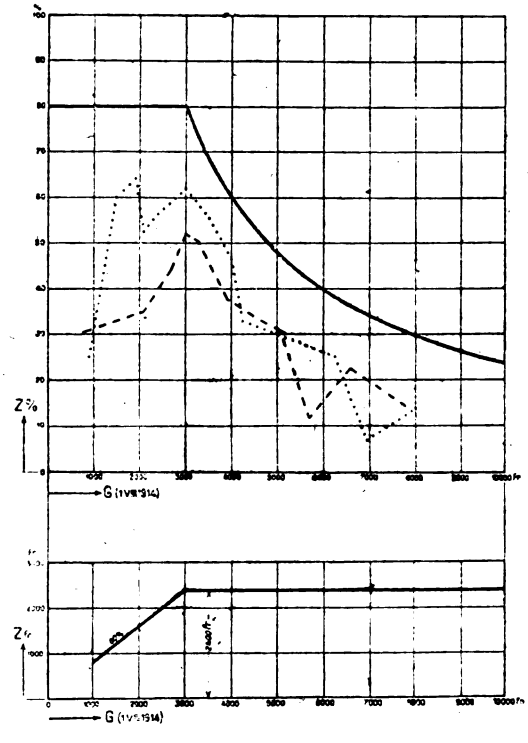


Fig. 4. — Projet de la Conférence des salaires de Berne.

sation ; on ne voit pas pourquoi le traitement de 3 000 francs jouit d'une situation privilégiée mise en évidence sur la courbe B reportée en pointillé (fig. 3).

Si on passe à la pratique, on obtient par exemple les courbes pointillées et ponctuées comme augmentations effectives d'après la conférence de Berne.

Les variations brusques s'expliquent simplement par ce fait que, à cause des services individuels ainsi que des différentes conditions des employés considérés dans les deux exemples, les augmentations, non influencées par le renchérissement de guerre, étaient également individuelles, même pour des traitements différents.

Digitized by Google

Assemblées générales

L'Électrique Lille-Roubaix-Tourcoing.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE EXTRAORDINAIRE DU 14 MARS 1919.

L'état du matériel, au moment de la libération du territoire, était relativement satisfaisant. L'exploitation des services a été assurée durant l'occupation grâce au concours dévoué des agents et de leurs chefs, parmi lesquels MM. Ricard, Corset, Proniewski, Pouget, Liénard et Collot qui ont administré de leur mieux la Société.

Les immeubles et remises des dépôts de Marcq et Leers n'ont pas eu à souffrir des opérations, trois voitures motrices ont seules été enlevées; cependant l'ensemble du matériel nécessitera de grands travaux pour être remis en état, l'exploitation ayant eu lieu dans des conditions défavorables.

Le service était effectué par 15 motrices à bogies, douze motrices à deux essieux et douze remorques.

Les voitures étaient réquisitionnées pour le transport de militaires, d'ouvriers civils et de matériaux divers ; un état a été tenu de ces transports afin d'en obtenir le remboursement.

En quittant la région les Allemands ont fait sauter tous les ponts, occasionnant des dégâts aux voies de terre et aux lignes aériennes. Des ponts provisoires établis par l'armée anglaise ont permis de reprendre le service sur les lignes principales.

A l'heure actuelle, sauf la ligne de Leers à Roncq, toutes fonctionnent.

La Compagnie s'est préoccupé du relèvement des salaires et des indemnités au personnel. En présence de toutes ces charges et des dépenses à effectuer, l'exploitation ne pouvait être reprise à l'ancien tarif. Une augmentation de 10 pour 100 avait été demandée à l'Administration préfectorale et a abouti.

Le Conseil s'est préoccupé d'obtenir les indemnités auxquelles a droit la Compagnie. Il ne peut encore fournir de renseignements précis sur la situation financière.

L Assemblée décide de dresser un bilan au 31 juillet 1914 et de considérer la période s'étendant jusqu'au 31 décembre 1918 comme formant un seul exercice de guerre.

Une Assemblée générale extraordinaire sera convoquée à nouveau.

Compagnie centrale d'éclairage par le gaz, Lebon et Cie.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 28 MARS 1919.

L'exploitation a été loin de s'améliorer en 1918, les approvisionnements du charbon pour la France et l'Algérie ont été faits par les soins du gouvernement. Pour la France, les prix ont été notablement diminués, mais pour l'Algérie le prix a été excessif.

En Espagne, la pénurie des bateaux pour transporter le charbon acheté aux mines espagnoles a forcé d'éteindre l'usine de Cadix Les autres usines se sont trouvées à certains moments presque sans charbon, Murcie et Valence ont dû arrêter momentanément la distribution du gaz.

En Egypte, grâce à l'aménagement des fours, la Compagnie a pu distiller successivement avec du charbon, des mazouts de provenance égyptienne.

Dans le cours de 1918, les villes de France qui n'avaient pas encore consenti au relèvement des prix ont enfin tenu compte des réclamations. De ce fait, la Compagnie a vu diminuer des pertes d'exploitation.

En Algérie, Oran a accepté une augmentation provisionnelle de prix, Alger et Blida s'y sont refusées. Le Conseil d'Etat ayant reconnu, par plusieurs arrêts, que les concessionnaires ont droit à des indemnités, la Compagnie espère conclure des arrangements amiables avec les villes de France et même d'Algérie, comme ceux faits pour Bernay et Honfleur.

Depuis l'armistice, les frets diminuent.

La moyenne des cours des changes des pesetas en France a été à l'avantage de la Compagnie en 1918, mais sans résultat pratique, celle-ci n'ayant pas eu à faire venir d'argent d'Espagne en France.

Les ventes brutes de gaz et d'électricité de la Compagnie ont atteint le chiffre de 26 686 126,62 fr. Celles de 1917 ayant été de 26578 654,74 fr, elles ont donc augmenté de 107 471,88 fr.

Les ventes brutes de gaz et d'électricité de janvier 1919 ont été de 3 069 352,17 fr, ce qui fait une augmentation de 597 559,73 fr.

L'exploitation des usines à gaz et stations électriques en 1918 a été encore franchement mauvaise. Le bilan des opérations de la Compagnie au 31 décembre 1918, montre que les bénéfices bruts ont été de 3 857 335,48 fr contre 3 596 562,56 fr en 1917, soit une augmentation de 260 772,92 fr.

Sur le bénéfice de 3 857 335,48 fr, il est prélevé 419 758,32 de frais généraux; 2 119 150 fr d'intérêts d'un an sur les obligations et 1 545 000 fr pour le remboursement des obligations, ce qui donne un total de 4 083 908,32 fr.

La perte pour 1918 est donc de 226 572,84 fr qui est défalquée sur le report de l'exercice précédent, 551 478,93 fr.

Le report pour 1919 est donc de 324 906,09 fr.

Le fonds spécial d'amortissement des actions se montait l'année dernière à 68 660,84 fr, le produit de leur placement ayant été de 1 059,82 fr, son montant total est actuellement de 70 720,66 fr.

Afin de simplifier le service de caisse, le paiement des coupons d'actions et d'obligations se fait depuis le 1er juillet 1918 à la Société générale de Crédit industriel et commercial.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1918.

Actif.

	fr
Usines et concessions d'éclairage et travaux supplémentaires	155 486 302,20
Immeuble social et propriété de la Compagnie à Paris	1 017 000 »
Espèces en caisse et en banque	8 658 439,03
Portefeuille et représentation de la réserve	8 793 899,20
Débiteurs divers :	
Comptes divers	3 316 396,02
Comptes courants des usines	16 319 160,63
	193 591 197,08

Passif.

	fr
Actions de 500 fr dont trois dixièmes, soit 5 250 000 fr, remboursés	17 500 000 »
Obligations de 500 fr 4 %, à amortir	38 112 119,25
Obligations de 500 fr 3 %, à amortir	14 433 076,09
Amortissement et dépréciation de l'actif industriel	80 627 603,32
Réserve statutaire	1 000 000 »
Fonds de prévoyance	14 095,35
Caisse de retraites	2 164 362,33
Amortissements divers dans les usines	17 397 412 »
Dividendes et intérêts :	
Restant à payer sur actions	116 096,65
Restant à payer sur obligations	1 986 677,50
Obligations à rembourser	1 910 900 »
Créditeurs divers :	
Comptes courants	449 253,07
Comptes divers et réserve sur change	18 183 974,78
Fonds spécial d'amortissement des actions	70 720,66
Profits et pertes :	
Report du solde créditeur au 31 décembre 1917 : 551 478,93	
Perte de l'exercice 1918 : 226 572,84	
Solde créditeur au 31 décembre 1918	324 906,09
	193 591 197,08

Digitized by Google

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Décret portant nomination d'une Commission pour l'attribution d'une médaille d'honneur aux ouvriers et employés pour circonstances résultant de l'état de guerre.

Voici le texte de ce décret en date du 2 avril 1919 et inséré au « Journal officiel » du 8 avril pages 3696-3697 :

Le Président de la République française.

Vu le décret du 16 juillet 1886 instituant une médaille d'honneur en faveur des ouvriers de l'industrie et des employés du commerce;

Vu le décret du 18 octobre 1913 créant une médaille d'honneur en vermeil ;

Vu le décret du 30 août 1918 prévoyant l'attribution de la médaille d'honneur, sans conditions de durée de services, à des ouvriers ou employés qui se seront distingués en des circonstances critiques résultant de l'état de guerre ;

Vu le décret du 8 mars 1919 étendant aux employés et ouvriers des ateliers dépendant des Ministères de la Guerre et de la Marine le bénéfice des dispositions du décret du 30 août 1918.

Décrète :

La Commission prévue par l'article 2 des décrets des 30 août 1918 et 8 mars 1919 pour l'attribution de la médaille d'honneur décernée, sans conditions de durée de services, à des ouvriers ou employés qui se seront distingués en des circonstances critiques résultant de l'état de guerre, est composée ainsi qu'il suit :

MM. Dervillé, membre du conseil de l'Ordre de la Légion d'Honneur, président.

Trutat, général de brigade, directeur de la Cavalerie, représentant du Ministre de la Guerre.

Bossut, contrôleur général, directeur de la Main-d'œuvre, représentant du Ministre de la Reconstitution industrielle.

Arthur Fontaine, inspecteur général des Mines, conseiller d'Etat, directeur du Travail, représentant du Ministre du Travail.

Fuzier, ingénieur en chef de 1re classe du Génie maritime, représentant du Ministre de la Marine.

Charmeil, conseiller d'Etat, directeur du Personnel, des Expositions et des Transports et Callède, chef du bureau du Personnel et de la Comptabilité, représentants du Ministre du Commerce et de l'Industrie.

Chandèze, Roy, et Hillairet, membres du Comité consultatif des Arts et Manufactures.

Houdin, titulaire de la médaille d'honneur du Travail (en vermeil).

Allaire, titulaire de la médaille d'honneur du Travail (en argent).

Boulet, titulaire de la médaille d'honneur du Travail (en argent).

Fait à Paris, le 2 avril 1919.

Arrêté instituant une Conférence interministérielle pour l'étude et la coordination des enseignements.

En raison de leur spécialisation un grand nombre d'écoles dépendent de départements ministériel autres que le Ministère de l'Instruction publique ; telles sont, pour n'en citer que quelques-unes, l'Ecole polytechnique, l'Institut agronomique, les Ecoles d'Arts et Métiers, etc. Comme toute modification dans les programmes d'admission à ces écoles a une répercussion sur l'enseignement universitaire, un organisme centralisateur de toutes les questions d'enseignement était désirable. C'est cet organisme que, sous le titre de Conférence interministérielle pour l'étude et la coordination des enseignements, vient de créer un arrêté en date du 18 février 1919, publié au « Journal officiel » du 11 avril 1919 et dont voici le texte :

ARTICLE PREMIER. — Il est créé une Conférence interministérielle pour l'étude et la coordination des questions d'enseignement.

Cette Conférence se réunira une fois par mois et, de plus, toutes les fois qu'il sera nécessaire pour les affaires urgentes.

ART. 2. — La Conférence a pour objet d'établir des relations régulières entre les ministères pour la connaissance et le réglement de toutes les affaires présentant un intérêt commun pour l'enseignement, de rechercher, pour chacune d'elles, l'entente entre les services spéciaux, d'organiser une action commune toutes les fois qu'il sera utile de résoudre, en général, toutes les difficultés administratives entre les divers départements.

ART. 3. — La Conférence pourra avoir une composition différente en raison des affaires à examiner. Elle se divisera en trois sections :

1re SECTION. — *Enseignement technique à tous ses degrés.* — Cette section sera composée :

Du directeur de l'Enseignement technique au Ministère du Commerce ;

Du directeur de l'Agriculture au Ministère de l'Agriculture ;

D'un représentant du Ministre de la Reconstitution industrielle ;

Du directeur de l'Enseignement supérieur ;

Du directeur de l'Enseignement secondaire ;

Du directeur de l'Enseignement primaire ;

Du vice-recteur de l'Académie de Paris.

2e SECTION. — *Expansion intellectuelle.* — Cette commission sera composée ;

D'un représentant du Ministre des Affaires étrangères ;

D'un représentant du Commissariat général de l'Information et de la Propagande ;

Du directeur de l'Enseignement technique au Ministère du Commerce ;

Du directeur de l'Agriculture au Ministère de l'Agriculture ;

Du directeur de l'Enseignement supérieur ;

Du directeur de l'Enseignement secondaire ;

Du directeur de l'Enseignement primaire ;

Du vice-recteur de l'Académie de Paris ;

Du directeur de l'Office des Universités.

3e SECTION. — *Ecole du Gouvernement : programme et organisation des concours d'entrée.* — Cette section compren-

Digitized by Google

dra un ou deux représentants des Ministères de la Guerre de la Marine, du Commerce, de l'Agriculture, des Travaux publics, de la Reconstitution industrielle, des Colonies, les trois directeurs de l'Enseignement au Ministère de l'Instruction publique, le vice-recteur de l'Académie de Paris.

En cas de besoin, des représentants des autres ministères pourront être convoqués aux réunions des trois sections. Il pourra être appelé également d'autres fonctionnaires à titre consultatif et en raison de leur compétence spéciale.

ART. 4. — Les réunions auront lieu au Ministère de l'Instruction publique.

ART. 5. — Après chaque séance, il sera établi un bordereau des affaires signalées et examinées qui sera remis à chaque ministre représenté. Toutes les fois qu'une affaire, après avoir fait l'objet d'une étude spéciale, donnera lieu soit à des propositions approuvées par la conférence, soit à un désaccord persistant, un rapport sera adressé aux ministres intéressés.

ART. 6. — Le directeur de l'Enseignement supérieur est chargé du Secrétariat de la Conférence.

Fait à Paris, le 18 février 1919.

Refus de permission de voirie
Arrêt du Conseil d'Etat du 17 mai 1918.

La responsabilité d'une commune concédante, pour refus d'une permission de voirie à un concessionnaire et octroi à un concurrent, se dégage nettement de l'arrêt que nous signalons ci-après.

RÉSUMÉ DU JUGEMEMENT. — Une ville, qui refuse à son concessionnaire les autorisations de voirie qui lui sont nécessaires pour l'exploitation normale de son entreprise et donne des autorisations à une entreprise concurrente, est responsable vis-à-vis de lui.

Elle ne peut alléguer, pour se disculper, qu'elle est propriétaire de l'immeuble au sujet duquel elle a refusé l'autorisation, car elle ne peut, comme propriétaire, empêcher l'effet des engagements qu'elle a pris comme autorité concédante.

Les dommages dont se plaint à juste titre le concessionnaire évincé se divisent en deux chefs :

a). — Dommage pour retard partiel, dans l'exploitation normale de la concession, pendant deux années, au cours desquelles il aurait pu prendre les clients qu'à recueillis un de ses concurrents.

b). — Impossibilité par lui de fournir à la Chambre de Commerce et à d'autres de l'énergie électrique qui lui avait été demandée et lui aurait été payée à un prix de 40, 30 et 25 centimes le kilowatt-heure.

HISTORIQUE. — La ville de Bordeaux avait concédé à la Compagnie générale d'Eclairage par le Gaz le privilège exclusif de la fourniture de la lumière par le gaz, et le droit d'établir des canalisations aériennes et souterraines dans le périmètre de la Ville ; le sieur Tricoche, antérieurement installé, avait reçu au même moment (1904) de la Ville un traité l'autorisant à subsister et, de plus, à établir de nouvelles canalisations, à la charge de supporter les mêmes obligations que le cahier des charges du 15 mai 1904 imposait à la Compagnie du gaz pour la distribution de l'énergie électrique.

La Ville reprochait au sieur Tricoche de n'avoir pas exécuté complètement son traité parce qu'il n'avait pas procédé à la construction d'usines électriques dans le territoire de Bordeaux ; or, l'article 47 du cahier des charges de Tricoche faisait à ce dernier l'obligation de supporter absolument les mêmes charges et obligations que celles résultant, pour le concessionnaire, de l'exécution du présent traité, notamment en ce qui concerne les usines, canalisations aériennes et souterraines, redevances et règlements de voirie ; et, d'autre part, parmi ces charges, se trouvait celle d'acquérir des usines électriques et d'en transférer la propriété à la Ville de Bordeaux.

S'autorisant de cette inexécution partielle, elle avait cru bon, par représailles, de refuser à Tricoche les permissions de voirie auxquelles il avait droit, par sa simple qualité de concessionnaire, et de faciliter ainsi à un concurrent une distribution dommageable à Tricoche.

Le Conseil d'Etat, par arrêt du 25 novembre 1910, avait remis les choses au point.

Il avait tout d'abord déclaré que Tricoche était absolument tenu d'acquérir et de transférer à la Ville de Bordeaux la propriété d'usines électriques ; il lui impartit, toutefois, un délai de trois mois, à compter de son arrêt, pour exécuter son obligation, sous peine de résiliation.

Mais il rappela à la Ville de Bordeaux, par le même arrêt, ce grand principe que les villes ne doivent pas se faire justice à elles-mêmes et manquer à leurs engagements sous le prétexte que le concessionnaire a manqué aux siens sans que la justice ait prononcé la résiliation.

Il confia donc à trois experts le soin de dire si le sieur Tricoche avait éprouvé un dommage et d'en chiffrer le quantum au cas de l'affirmative

Aussi, est-on assez surpris de voir que, dans l'affaire solutionnée par l'arrêt, la Ville ait cru devoir revenir sur la question de principe en ce qui concerne la responsabilité. Le premier arrêt ne laissait aucun doute à cet égard. Seule la question du chiffre était à discuter, comme le fait comprendre l'arrêt.

ARRÊT DU CONSEIL D'ETAT. — Le Conseil d'Etat, statuant au Contentieux ;

Vu la décision, en date du 25 novembre 1910, par laquelle le Conseil d'Etat, statuant sur la requête du sieur Tricoche, ingénieur-électricien, demeurant à Bordeaux (Gironde), rue de Grassi, 2, qui tendait à l'annulation d'un arrêté rendu le 26 juillet 1907, par le Conseil de Préfecture de la Gironde, sur une contestation née entre le réquérant et la Ville de Bordeaux au sujet de l'interprétation du cahier des charges de la concession de gaz et de l'électricité de la Ville de Bordeaux, approuvé par l'autorité supérieure le 16 mars 1914, a ordonné avant dire droit, qu'il serait procédé à une expertise à l'effet de rechercher si le sieur Tricoche a éprouvé quelque dommage, soit par suite du refus qui a été opposé, par le maire de Bordeaux, à ses demandes d'autorisation, soit à raison des autorisations délivrées à la Compagnie de Tramways et des fournitures faites, par cette dernière, à la Compagnie générale d'Eclairage, au sieur Carde et à la Chambre de Commerce ;

Vu le procès-verbal d'expertise dressé en exécution de la décision avant dire droit susvisée, ledit procès-verbal enregistré comme ci-dessus le 15 octobre 1913 ;

Vu, etc.

Décide :

ARTICLE PREMIER. — La Ville de Bordeaux paiera au sieur Tricoche une indemnité de 88 600 fr. Cette somme portera intérêt à compter du 28 novembre 1906. Les intérêts échus le 2 juin 1915 et 28 décembre 1917 seront capitalisés pour produire eux-mêmes intérêts à compter de chacune desdites dates.

ART. 2. — Les dépens exposés par le sieur Tricoche, depuis la décision avant dire droit du 25 novembre 1910 ainsi que les frais d'expertise liquidés à la somme totale de 14274,70 fr, savoir : pour le sieur Juppont, 4962,40 fr ; pour le sieur Clavel, 3431,80 fr ; pour le sieur Louvery, 5879,50 fr seront supportés par la Ville de Bordeaux.

Conseil d'Etat, 17 mai 1918, MM. Guillaumont, rapp. ; Corneille, c. du Gouv. ; Frénoy, Hannotin, Boivin-Champeaux, avocats.

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF : Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. TOME V. — N° 18. 3 MAI 1919.

Chronique. — Nos collaborateurs : Le général Ferrié. — Appel aux constructeurs d'appareils de chauffage électrique. — Bibliographie : Méthodes de jaugeage, par Léon-W. COLLET, R. MELLET et C. LUTSCHG; Recherches sur les tourbières et l'industrie de la tourbe au Canada en 1911-1912, par AUREP, p. 649-650.

Section scientifique et technique. — Mesure de la capacité dans les câbles armés triphasés en vue de l'évaluation du courant de capacitance, par R. BOUZON, p. 651. — Revues, analyses et informations : Caractéristiques des diélectriques, p. 653; Comparaison des capacités par une méthode balistique de zéro, p. 656.

Section industrielle. — L'usine hydro-électrique de l'Ance de la Compagnie électrique de la Loire et du Centre, par Jacques DE SOUCY, p. 659. — Revues, analyses et informations : Téléphonie et télégraphie multiplex, p. 670; La grenaille de charbon pour microphones, p. 671. — Notes pratiques : Comment on travaille l'aluminium, p. 672.

Section économique et financière. — De quelques matières premières nécessaires à l'industrie électrique : Le mica, par Désiré PECTOR, p. 673.

Erratum, p. 678.

Section de législation. — Législation, jurisprudence, réglementation : Loi sur la journée de 8 heures, p. 679; Loi complétant l'article 14 de la loi du 18 décembre 1915 sur les sociétés coopératives ouvrières de production et l'organisation du crédit au travail en France, p. 679; Arrêt du Conseil d'État concernant le relèvement du prix du gaz, p. 680.

Nos collaborateurs : Le Général Ferrié. — L'apparition de ce numéro coïncidera à peu de chose près avec la nomination du général Ferrié, que nos lecteurs connaissent tout au moins de nom, au grade de « docteur ès sciences honoris causa » à l'Université d'Oxford.

C'est une haute distinction dont les récipiendaires ont le droit d'être fiers; la « R. G. E. » adresse à cette occasion ses vives félicitations au directeur technique de la Radiotélégraphie militaire française.

Le travail de découverte ou de mise au point qui a été fait à l'Etablissement central est en général fort peu connu du public à cause du secret qui était imposé dans l'intérêt de la défense générale interalliée. Mais déjà des signes extérieurs marquent l'aide apportée à la cause commune. Le général Ferrié a été nommé récemment : Compagnon de Michel et Georges (Angleterre), Officier des Saints Maurice et Lazare (Italie), Officier de l'ordre Léopold (Belgique), Officier de l'Aigle blanc (Serbie) et il a reçu la médaille des Etats-Unis pour « services distingués ».

Tous ses collaborateurs se sont réjouis de sa nomination au grade de général de brigade le 20 mars dernier. Tous rendent hommage à son esprit de méthode et d'invention, à sa direction éclairée, à sa probité intellectuelle absolue, à son désintéressement et à l'impulsion puissante qu'il a donnée à toutes les recherches utiles. C'est grâce à ces qualités personnelles qu'il a pu grouper autour de lui le concours dévoué de toute une série de savants de premier ordre, militaires de profession ou mobilisés et entretenir une cordiale collaboration avec la Marine française et avec tous nos alliés.

Signalons en passant que l'on a pris très peu de brevets à l'Etablissement central, à cause du sentiment que le général Ferrié y avait fait dominer, que l'on y travaillait non pour soi, mais pour la communauté.

Appel aux constructeurs d'appareils de chauffage électrique. — Malgré les prix relativement élevés auxquels est produite l'énergie électrique, ses applications au chauffage, domestiques et même industrielles, se développent considérablement, surtout dans les pays étrangers riches en chutes d'eau, comme la Suisse, la Suède et la Norvège, ou qui disposent de charbon à bon marché, comme l'Angleterre et les Etats-Unis. Et ce développement, en même temps qu'il donne satisfaction à la clientèle des entreprises de distribution d'énergie électrique, paraît être financièrement favorable à ces entreprises en augmentant le facteur de charge de leur matériel générateur.

En raison de ces avantages, la Sous-Commission du Chauffage de la Commission des Applications de l'Electricité de l'Union des Syndicats de l'Electricité s'est préoccupée des moyens propres à développer les applications du chauffage électrique en France, tout au moins dans les régions desservies par des usines hydro-électriques. Dans sa dernière séance, elle a décidé de faire

Digitized by Google

appel dans ce but aux fabricants d'appareils de chauffage électrique en leur demandant, par le canal de la » Revue générale de l'Electricité », de lui adresser les catalogues et notices qu'ils ont publiés.

Nous nous faisons donc l'interprète de la Sous-Commission en priant ces fabricants de nous faire parvenir d'urgence deux exemplaires (trois même si possible) de toute brochure concernant le chauffage par électricité ; l'un de ces exemplaires sera transmis à la Sous-Commission, l'autre sera versé à la bibliothèque de la Revue.

Ajoutons que nous serons heureux de recevoir de nos lecteurs toute suggestion et tout renseignement susceptibles de contribuer à documenter la Sous-Commission sur la question du chauffage électrique.

Bibliographie : Méthodes de jaugeage. — I. *Jaugeages par titrations et essais comparatifs*, par Léon W. Collet, Directeur du Service suisse des Eaux et R Mellet, professeur de Chimie analytique à l'Université et à l'Ecole d'Ingénieurs de Lausanne. — II. *Jaugeages par moulinets et comparaisons avec la méthode du déversoir et la méthode chimique*, par O. Lütschg, ingénieur attaché au Service suisse des Eaux (1).

C est aux persévérantes recherches de MM. Boucher et Mallet que l'on doit le degré de perfection qu'atteint aujourd'hui la méthode chimique de jaugeage d'un cours d'eau ; rapide et exacte, elle permet aussi de déterminer facilement le débit des turbines à haute chute ; toutefois il convient de se conformer rigoureusement aux indications données par ces techniciens. Dans le présent opuscule, MM. Collet et Mellet ont rassemblé tous les documents susceptibles de guider les débutants. La partie théorique, très courte d'ailleurs, nous renseigne sur la manière de préparer la solution concentrée de sel marin, de l'introduire dans le cours d'eau, de prélever les échantillons, puis de faire l'analyse de ces deux solutions au laboratoire. Les auteurs appliquent alors la méthode chimique d'abord au jaugeage d'une turbine Francis immergée à axe vertical, à la station d'essais de l'Aktiengesellschaft vormals Joh. Jacob Rieter und Cie, à Töss, près de Winthertur ; ils décrivent en détail l'installation réalisée. Non seulement pour les jaugeages chimiques, mais encore pour les jaugeages par déversoirs et moulinets dont il sera question plus loin. La conclusion de ce premier essai est intéressante à signaler : « La turbine Francis immergée est incapable par elle-même d'effectuer le mélange homogène de la solution initiale avec l'eau d'alimentation ; on ne peut donc pas en mesurer le débit par voie chimique comme pour les turbines à haute chute, à moins de recourir à un procédé artificiel pour le mélange de la solution, comme il est indiqué. »

Le deuxième essai a porté sur une turbine Francis double à axe horizontal, fonctionnant sous une chute moyenne de 45 m ; cette turbine appartient à l'Usine hydro-électrique des chemins de fer fédéraux, à Massaboden, près de Brigue. Ici il a fallu pourvoir à l'installation de tous les accessoires, mais tous ces dispositifs de fortune n'en ont pas moins donné des résultats très constants, de sorte qu'on peut affirmer que ce type de turbine produit un mélange parfait de la solution et que son débit peut être jaugé avec précision. Remarquons que la plupart de ces mesures étaient contrôlées par des jaugeages au déversoir, ou au moulinet, ou par les deux à la fois. A titre de curiosité, nous citons un exemple où les 3 méthodes ont été employées. On a trouvé : par le moulinet, 500 l : sec ; par la voie chimique, 495 l : sec ; par le déversoir, 491 l : sec. Les auteurs signalent que, dans tout le cours de leurs travaux, les résultats se sont toujours classés dans cet ordre de grandeur.

Cette première partie est écrite en langue française ; la seconde est rédigée en allemand, M. Lütschg y décrit 6 types de moulinets ; il indique la manière de procéder à leur étalonnage et donne, pour chacun d'eux, la formule qui relie la vitesse d'écoulement de l'eau au nombre de tours du moulinet. Cette relation est linéaire. La vitesse moyenne du cours d'eau est la moyenne des vitesses relevées par le moulinet à différentes cotes, soit 5 cm, 21 cm, 37 cm, 54 cm, 71 cm et 87 cm au-dessous du niveau.

L'auteur montre que les oscillations du niveau ont une influence nullement négligeable sur les valeurs de la vitesse, en ne tenant pas compte de ce fait, on peut commettre une erreur en moins de 3 pour 100.

Pourvu que l'on prenne des précautions spéciales dans chaque cas et pour chaque moulinet, tous ces appareils donnent des résultats très concordants entre eux et comme nous l'avons déjà dit, avec ceux des autres méthodes.

Dans cet opuscule, les auteurs semblent apprécier beaucoup la formule de Frese pour le calcul du débit d'un déversoir et, en fait, ses données méritent toute confiance. Nous la reproduisons ci-dessous. Le débit d'un déversoir en mètres cubes par seconde est :

$$Q = \frac{2}{3}\,\mu\, b\, h\, \sqrt{2gh};$$

$$\mu = \mu_0 \left[1 + \left(0{,}25 \left(\frac{b}{B}\right)^2 + \zeta \right) \left(\frac{b}{H}\right)^2 \right];$$

$$\mu_0 = 0{,}5755 + \frac{0{,}017}{h + 0{,}18} - \frac{0{,}075}{b + 1{,}20};$$

$$\zeta = 0{,}025 + \frac{0{,}0375}{\left(\frac{h}{H}\right)^2 + 0{,}02}.$$

Les lettres représentent : h, la charge ou hauteur du niveau au-dessus de la crête du déversoir ; H, la différence des niveaux à l'amont et à l'aval ou hauteur de retenue ; B, la largeur moyenne du cours d'eau ; b, la largeur du déversoir ; g, l'accélération due à la pesanteur.

Ce petit ouvrage est tout à fait d'actualité par son caractère pratique il sera certainement apprécié par tous les hydrauliciens. — B. C.

Bibliographie : Recherches sur les tourbières et l'industrie de la tourbe au Canada en 1911-1912 par Anrep (1). — Cet ouvrage imprimé entièrement en français sur beau papier couché débute par une classification de la tourbe et par la botanique des tourbières. Il passe ensuite en revue les tourbières des environs de Québec et de l'Etat d'Ontario en indiquant sommairement comment on fabrique le combustible de tourbe. Des notes sur la machinerie nouvelle nécessitée par cette fabrication complètent l'ouvrage.

En outre, des cartes et des photographies, dont l'excellente qualité du papier a favorisé le tirage, illustrent ce livre et en font un traité utile à consulter par tous ceux que l'emploi de la tourbe comme combustible intéresse.

(1) Un vol. 22 cm × 14 cm, 115 pages, 9 planches et 5 figures ; en vente au Secrétariat du Service suisse des Eaux à Berne, Bollwerk 27. Prix broché, 4 fr.

(1) Un volume 17 cm × 25 cm, 47 pages, édité par l'Imprimerie du Gouvernement à Ottawa.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Mesure de la capacité dans les câbles armés triphasés en vue de l'évaluation du courant de capacitance

Par la présente étude l'auteur indique une méthode, par laquelle on arrive au moyen d'une seule mesure à la valeur de la « capacité étoilée » d'un câble triphasé, valeur qui permet le calcul du courant de capacitance dans le câble onctionnant à vide sous sa tension triphasée de service (1).

Evaluation de la capacité. — Considérons un câble triphasé, *sans armature*. Soit m, n, p, les 3 cordes représentées en coupe (fig. 1). Chaque corde forme avec

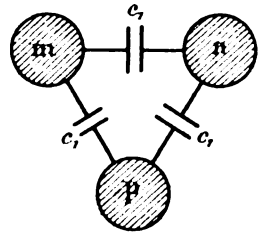


Fig. 1. — Câble triphasé sans armature.

sa voisine les armatures d'un condensateur de capacité c_1, représenté schématiquement dans la figure.

Le courant I de capacitance absorbé à vide, par un tel système en triangle, sous tension triphasée et mesuré sur une phase à l'entrée dans le câble, est

$$I = \omega c_1 E \sqrt{3}, \qquad (1)$$

E étant la tension composée ou entre phases.

A ce système de condensateurs en triangle peut être substitué un système équivalent monté en étoile (fig. 2) pour lequel le courant de capacitance conservera la même valeur.

Soit c la nouvelle capacité unitaire de ces condensateurs.

En ce cas, le courant de capacitance sera exprimé par

$$I = \omega c e, \qquad (2)$$

e étant la tension étoilée, ou entre une phase et le point neutre

(1) Auteurs consultés, traitant du jeu de la capacité dans les câbles : Barbillion, Janet, Russel, Coyle et Howe (Electric câbles), Lichteinstein, Fleming, (Handbook for the Electrical Laboratory and Testing Room, t. II), Dr F. Breisig (*E. T. Z.*, 1902).

Mais

$$e = \frac{E}{\sqrt{3}}.$$

D'où

$$I = \frac{\omega c E}{\sqrt{3}}. \qquad (3)$$

Remarquons incidemment, en égalant les équations (1) et (2), que

$$c = 3c_1.$$

Dans le cas d'un même câble triphasé, mais avec armature, le problème devient plus complexe, en raison

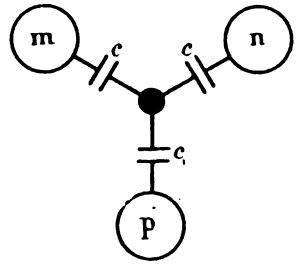


Fig. 2. — Système équivalent.

du voisinage de cette armature, qui détermine une augmentation de la capacité des conducteurs.

Etudions c dans ce nouveau cas en le décomposant en ses éléments.

Le schéma (fig. 3), représente les capacités composantes.

Le cercle représente l'armature ou enveloppe de plomb ; m, n, p, les conducteurs.

Soit s la capacité d'un conducteur par rapport au plomb.

Soit k la capacité d'un conducteur par rapport à un autre conducteur (1).

(1) Notations empruntées à M. Janet.

Digitized by Google

Ce schéma peut être encore simplifié suivant la figure 4.

Nous voyons par cette figure 4, qu'en fait, nous avons à envisager un système de condensateurs en triangle,

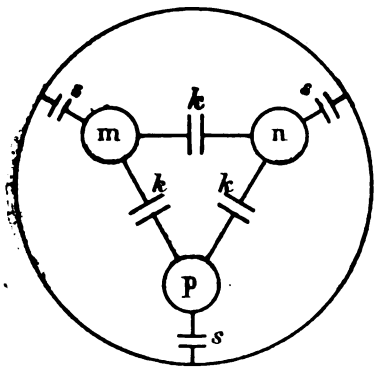


Fig. 3. — Câble triphasé avec armature.

monté en parallèle avec un système de condensateurs en étoile.

Si nous mesurons, au galvanomètre balistique par exemple, la capacité du conducteur m par rapport au conducteur n, soit c' cette valeur, et que nous l'exprimions en fonction de s et de k, nous pourrons écrire

$$\text{Capacité de m par rapport à n} = c' = k + \frac{k}{2} + \frac{s}{2}$$

(La capacité s placée entre p et l'armature n'intervient pas, ces deux points étant au même potentiel.)

Valeur qu'on peut encore écrire sous la forme:

$$(4) \qquad c' = \frac{3}{2}\left(k + \frac{s}{3}\right).$$

De la même manière, si nous mesurons la capacité de

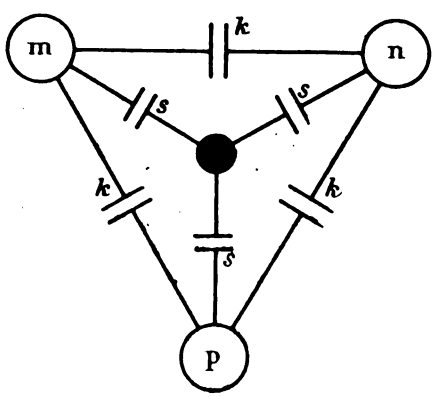


Fig. 4. — Système équivalent simplifié.

m par rapport aux conducteurs n et p réunis, soit c'' cette valeur exprimée en fonction de s et k nous aurons

$$\text{Capacité de m par rapport à n et p} = c'' = 2k + \frac{2}{3}s.$$

ou

$$(5) \qquad c'' = 2\left(k + \frac{s}{3}\right).$$

Mais à tout cet ensemble complexe des condensateurs s et k, peut être substitué un système *équivalent* étoilé (fig. 2), c'est-à-dire dans lequel le courant I de capacitance conservera la même valeur et dans lequel il suffira d'envisager c, que nous appelerons *capacité étoilée*.

Dans ce système équivalent (fig. 2) on voit que les valeurs de c' et c'' sont respectivement

$$c' = \frac{c}{2}.$$

$$c'' = \frac{2}{3}c.$$

En égalant ces valeurs aux valeurs respectives des équations (4) et (5), il vient

$$c' = \frac{c}{2} = \frac{3}{2}\left(k + \frac{s}{3}\right),$$

$$c'' = \frac{2}{3}c = 2\left(k + \frac{s}{3}\right).$$

De ces deux équations nous extrairons les valeurs de c en fonction : 1° de c' ; 2° de c''; 3° des paramètres k et s

$$c = 2c',$$

$$c = \frac{3}{2}c'',$$

$$c = 3\left(k + \frac{s}{3}\right).$$

Ce qui revient à exprimer que la capacité étoilée, permettant le calcul du courant de capacitance dans un câble armé alimenté en triphasé, est égale au double de la capacité mesurée entre deux conducteurs, le troisième restant isolé, ou à $\frac{3}{2}$ de la capacité mesurée entre un conducteur et les deux autres réunis.

Courant triphasé de capacitance. — De ce qui précède, il découle qu'en fonction de la capacité étoilée c, de la tension composée ou entre phases E et de la pulsation ω, le courant I de capacitance, mesuré sur une phase, est donné comme dans la formule (3) par

$$I = \frac{\omega c E}{\sqrt{3}}.$$

Et en fonction de e, tension simple ou entre phases et neutre

$$I = \omega c e.$$

Nota. — Certains techniciens font usage de coefficients, permettant d'arriver à la valeur c en partant de la-

Digitized by Google

valeur c''' (mesure de capacité faite entre un conducteur et les deux autres réunis au plomb). Il s'agit là de coefficients empiriques, c'est-à-dire, qui ne sont sensiblement exacts qu'entre certaines limites données de construction des câbles.

Autrement dit, il n'existe pas, comme dans les cas précédents relatifs à c' et c'', de constante liant c''' à c.

En effet

$$c''' = 2k + s.$$

Or

$$c = 3\left(k + \frac{s}{3}\right) = 3k + s.$$

On voit donc que, pour passer de c''' à c, il faudrait déterminer les valeurs séparées de k et s, ce qui obligerait à faire deux *mesures*, sur des systèmes différents de couplage de ces condensateurs s et k, pour pouvoir poser les deux équations indispensables,

Il en est de même dans toutes les autres combinaisons possibles.

Seules, les mesures c' et c'' permettent l'obtention mathématiquement exacte du résultat désiré, *en une seule opération*.

La vérification expérimentale des conclusions de cette étude a donné pleine satisfaction.

Nous avons été encouragés dans ces recherches, ainsi que dans un certain nombre d'autres actuellement en cours, par notre ancien maître M. Barbillion, auquel nous adressons ici l'expression de notre bien vive gratitude.

Raymond Bouzon,
Ingénieur aux Établissements Grammont

Revues, analyses et informations

Caractéristiques des diélectriques (1).

Le développement futur de l'appareillage électrique dépend principalement de la découverte d'isolants qui puissent supporter des tensions et des températures plus élevées; elle dépend aussi de la réduction du dégagement interne de chaleur, de l'amélioration des dispositifs favorisant la dissipation de la chaleur et de ceux qui protègent les diélectriques contre les à-coups de courant. Il est donc intéressant de connaître aussi complètement que possible la nature des diélectriques, pour pouvoir les utiliser de la meilleure manière.

L'auteur a étudié quelques-unes de leurs propriétés au moyen d'un pont à inductance pour courants de haute tension et basse fréquence qu'il a combiné à cet effet (2).

Presspan dans l'huile. — Le presspan utilisé a 0,32 cm d'épaisseur; il est de qualité uniforme et débarrassé d'humidité. Avant leur emploi, on sèche les échantillons pendant trois jours dans un four à vide et on les plonge chauds dans une cuve contenant de l'huile où on les laisse séjourner jusqu'à ce qu'ils soient saturés d'huile.

Rigidité diélectrique. — La rigidité diélectrique dépend de la durée d'application de la tension et de la température. Le principal effet de l'élévation de la température est de retarder la formation autour des électrodes de bulles gazeuses qui semblent influer sur la durée de la rupture. Le potentiel de rupture instantanée est de 90 000 v, ce qui correspond à un gradient de potentiel de 283 500 v : cm. Les essais montrent également que les échantillons supportent 30 000 v (94 500 v : cm) pendant un temps indéfini et à une température quelconque sans subir la rupture.

Influence de la température sur l'angle de perte diélectrique. — Les courbes de la figure 1 qui représentent la variation du facteur de puissance ($\sin \theta_x$) en fonction de la température pour des gradients variables du potentiel (fig. 1) ne peuvent être considérées que comme approchées parce que la température de l'échantillon est en retard sur celle de l'huile dans laquelle plongent les thermomètres et parce que l'auteur a utilisé des formules approchées pour le calcul des résultats. Néanmoins, ces résultats sont intéressants en ce qu'ils montrent que les potentiels les plus élevés conduisent au plus faible facteur de puissance.

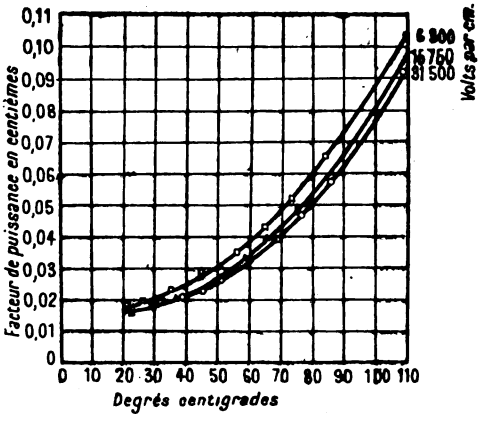


Fig. 1. — Variations du facteur de puissance dans le presspan humecté d'huile en fonction de la température.

Influence du potentiel sur l'angle de perte diélectrique. — Le facteur de puissance du presspan diminue quand la tension augmente; l'inverse a lieu pour le micarta. D'après l'auteur, ce phénomène pourrait tenir au fait que le champ électrostatique augmente la polarisation plus rapidement qu'elle n'accroît l'ionisation. Par suite, la substance devient un meilleur diélectrique quand elle est soumise à un champ électrostatique. On voit sur la figure 2 que le courant total est proportionnel à la tension.

Relation entre la perte d'énergie et le carré du potentiel. — La perte d'énergie n'est pas strictement proportionnelle au carré du potentiel efficace, comme on peut le voir sur la figure 3; elle augmente beaucoup plus lentement.

(1) Chester-Arthur Butman. *Electrical World*, 20 avril 1918, t. LXXI, p. 813-815, 3800 mots, 9 fig.
(2) *Electrical World*, 9 mars 1918.

Digitized by Google

Diélectrique hétérogène. — L'auteur a étudié un diélectrique hétérogène constitué par des couches alternatives de presspan et d'huile de paraffine. Les résultats représentés sur la figure 4 indiquent que la constante diélectrique du système (4,25) est supérieure à celle de chacun des constituants (3,32 pour le presspan et 3,69 pour la paraffine) pris isolément et inférieure à leur somme. A noter également

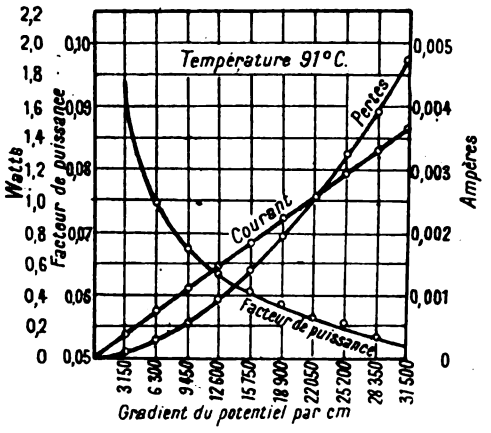


Fig. 2. — Variations des pertes diélectriques, du facteur de puissance et du courant dans le presspan en fonction du gradient du potentiel.

que le courant, le facteur de puissance, la perte de puissance et la constante diélectrique augmentent avec la température; à 52°C il y a une variation brusque des courbes représentatives qui tient à une variation des propriétés physiques de l'huile à cette température. L'auteur a observé,

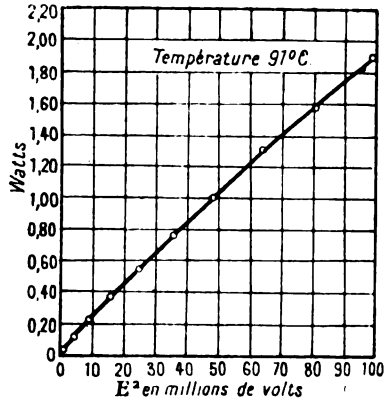


Fig. 3. — Variation des pertes diélectriques dans le presspan en fonction du carré du potentiel.

en outre, que le facteur de puissance du diélectrique hétérogène est supérieur à celui du presspan seul. D'où il résulte que l'huile de paraffine doit avoir un facteur de puissance important aux températures élevées. Cette prévision a été vérifiée directement par des expériences faites avec une cuve dans laquelle plongeaient deux électrodes d'aluminium : l'angle de perte diélectrique augmente grandement par l'échauffement.

Huile de paraffine. — *Rigidité diélectrique.* — L'étude de l'influence de la température a été effectuée pendant une saison froide et on a pu envisager l'huile au voisinage de la fusion. Le point de fusion (— 12°C) constitue un point de transition dans la courbe de la rigidité diélectrique en fonction de la température. Au lieu de décroître avec la

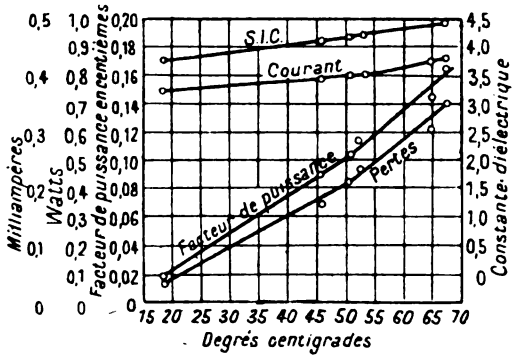
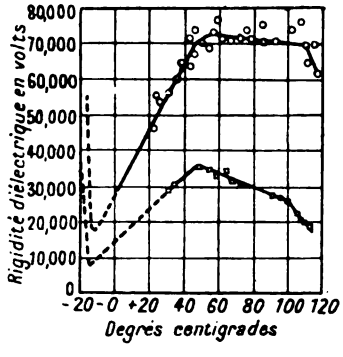


Fig. 4. — Variation en fonction de la température des diverses propriétés du diélectrique hétérogène formé de couches alternées de presspan et d'huile de paraffine.

température, comme on pourrait le croire, la rigidité diélectrique commence par croître.

Des expériences ont été faites à haute température au moyen d'un éclateur étalonné disposé dans une cuve d'huile. Chaque point de la courbe (fig. 5) est la moyenne de dix déterminations faites à la même température. Les lignes pointillées représentent la forme probable de la courbe d'après les résultats obtenus à basse température. La fré-



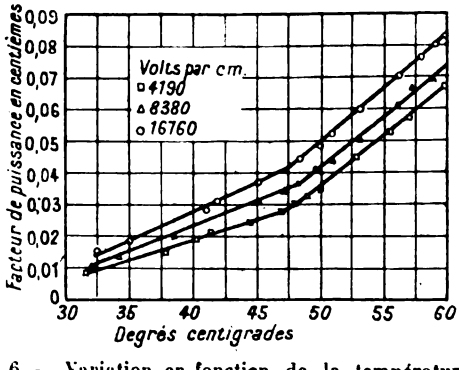


Fig 5 et 6. — Variation, en fonction de la température, de la rigidité diélectrique et du facteur de puissance pour l'huile de paraffine.

quence utilisée était de 25 p : sec. On peut observer que les courbes obtenues pour différentes distances d'éclatement sont analogues. Toutefois, le point de transition est 110° C

Digitized by Google

avec le plus grand écartement de l'éclateur (courbe supérieure de la figure 5), tandis qu'il est de 100° C avec le plus petit (courbe inférieure de la figure 5).

Les résultats les plus importants qu'ont fourni les expériences relatives à la rigidité diélectrique consistent en ce que l'huile de paraffine possède un point de transformation vers 50°C et que la rigidité diélectrique conserve ensuite sa valeur maximum jusque vers 100°C; à cette température on observe une nouvelle transformation et la rigidité diélectrique diminue ensuite rapidement quand la température augmente.

Echauffement de l'huile par dissipation de l'énergie. — Des expériences soignées ont indiqué que l'échauffement de l'huile dû à la dissipation d'énergie dans le diélectrique n'affecte pas d'une manière appréciable ses principales propriétés.

Angle de perte diélectrique. — On voit sur les courbes de la figure 6 qu'entre 30° et 60° le facteur de puissance, pour une température déterminée, augmente avec le gradient du potentiel, ce que l'auteur attribue à l'effet calorifique plus élevé que déterminent les plus forts gradients. On voit également que l'angle de perte augmente rapidement avec la température et que les courbes présentent un point anguleux vers 49°C, c'est-à-dire sensiblement vers la même température que les courbes représentant la rigidité diélectrique.

Constante diélectrique. — Contrairement aux prévisions, l'auteur a observé que la constante diélectrique de l'huile de paraffine augmente avec la température (fig. 7); vers 50°C, la courbe présente un point anguleux, après quoi la constante diélectrique augmente encore plus vite. Il ne semble pas y avoir de variations de la constante diélectrique avec le gradient du potentiel.

Courants dans l'huile de paraffine. — Les courbes de la figure 8 semblent indiquer également l'existence d'un point anguleux dans les courbes représentant le courant en fonction de la température pour différentes valeurs du gradient du potentiel. En outre, le courant ne devient proportionnel à la tension que vers 53° C, point de transition pour l'huile : au-dessous de ce point, l'écart de la proportionnalité est d'autant plus grand que les potentiels utilisés sont plus élevés, d'où l'on peut conclure qu'au dessous du point de transition il n'y a pas, dans l'huile, un nombre d'ions suffisant pour transporter le courant. Le potentiel semble provoquer la dissociation des molécules et la formation d'ions. Comme les courants, au-dessous de 53° C, sont proportionnels à la température, la dissociation semble devoir être également proportionnelle à la température. D'où l'on peut

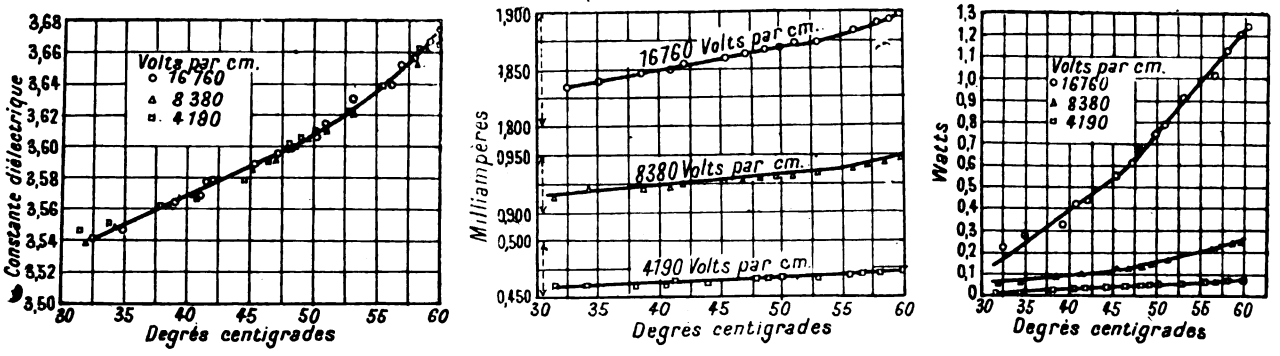


Fig. 7, 8 et 9. — Variation, en fonction de la température, de la constante diélectrique, du courant et des pertes diélectriques pour l'huile de paraffine.

déduire que, vraisemblablement, au point de congélation de l'huile, la mobilité des ions ou la dissociation doivent être nulles.

Pertes d'énergie dans le diélectrique. — On peut voir sur la figure 9 que la perte d'énergie est proportionnelle à la température. En outre, comme la constante diélectrique est indépendante de la tension et que l'angle de perte augmente avec la tension, la perte d'énergie, dans l'huile de paraffine, augmente plus vite que le carré du potentiel. Vers 49° C on observe un point anguleux.

Théorie des propriétés diélectriques de l'huile de paraffine. — L'auteur pense que toutes les propriétés diélectriques de l'huile de paraffine peuvent s'expliquer à partir de l'ionisation et de la polarisation. Supposons, par exemple, que l'ionisation varie proportionnellement à la température et la polarisation en raison inverse : le courant de déplacement, qui dépend de la polarisation, diminuera quand la température augmentera et le courant de conduction, qui dépend de l'ionisation, augmentera. Ces relations semblent en accord avec les faits : l'angle de perte diélectrique dépend surtout de la polarisation et, par suite, jusqu'à un certain point, en indique les effets.

En étudiant les courants qui se produisent dans l'huile, on peut voir que l'application d'un champ électrostatique entraîne un accroissement de l'ionisation dans l'huile. Au-dessus du point de transition (50°C), l'ionisation se produit aisément, en sorte qu'un nombre convenable d'ions sont affectés au transport du courant. En outre, comme l'angle de perte diélectrique augmente plus vite au-dessus de 50°C, il en résulte que la polarisation diminuera plus vite après cette température.

L'auteur mentionne les travaux les plus importants qui ont été consacrés à la rigidité diélectrique des solides, des liquides et des gaz. Faraday (1) indique, par exemple, pourquoi l'induction nécessaire pour la rupture doit être beaucoup plus élevée dans un fluide que dans un gaz et plus élevée encore dans un solide que dans un fluide. Thornton (2) a montré que la rigidité diélectrique diminue quand la fréquence augmente. L'influence de l'élément temps sur la rupture des diélectriques a été mise en évidence par un certain nombre d'auteurs : Townsend pense qu'il faut qu'un certain nombre d'ions aient été formés par collision avant

(1) FARADAY. *Phil. Trans.*, janvier 1838; *Experimental Researches in Electricity*, t. I, p. 446.
(2) W.-M. THORNTON. *Phil. Mag.*, 1916, t. XXXII, p. 242.

Digitized by Google

que la décharge puisse se produire. Chernyshoff et l'auteur (1) ont établi qu'à une faible fréquence (60 p : sec) correspond la plus courte longueur d'étincelle, tandis qu'à haute fréquence les ions n'ont pas le temps de se former par collision en sorte que la décharge peut suivre un plus long trajet.

La théorie de l'ionisation rend bien compte de la variation de la rigidité diélectrique de l'huile. La plus grande rigidité se manifeste quand la conduction ionique commence à se produire librement. A partir de ce point et jusqu'aux environs de 100°C, la rigidité est sensiblement constante ; ainsi il faut supposer que le liquide est polarisé, sinon il serait difficile de voir pourquoi la rigidité diélectrique demeure sensiblement constante quand la température augmente. Cependant, si le liquide est polarisé, il semble que le même champ pourrait être appliqué, jusqu'à ce que la polarisation elle-même soit modifiée. Au point de transition de 50°C et aux températures plus élevées, il y a un nombre suffisant d'ions pour transporter le courant et la conduction ionique protège la polarisation. Cependant, les courbes de la figure 5 indique que la polarisation diminue légèrement quand la température augmente jusque vers 100°C, après quoi il y a une diminution rapide de la rigidité diélectrique. D'après la théorie précédente, la polarisation décroîtrait rapidement quand la température dépasse 100°C. Ceci a été établi par C.-W. Ackerman (2) qui a trouvé que l'huile de paraffine devient un mauvais isolant vers 100°C.

Au-dessous de 50°C la polarisation est de moins en moins protégée par l'ionisation jusqu'à ce que soit atteint le point de congélation, pour lequel il n'y a que peu ou pas d'ions mobiles. Le point de congélation (— 12°C) marque donc le point de rigidité diélectrique minimum. Quand on abaisse la température au dessous de — 12°C, l'huile acquiert des propriétés physiques telles que la cohésion diélectrique et par suite la rigidité diélectrique s'accroissent notablement.

Cause de l'augmentation de la constante diélectrique avec la température. — On pourrait s'attendre à ce que la constante diélectrique diminue quand la température augmente, parce qu'aux températures plus élevées il y a moins de matière entre les plateaux du condensateur. Pour quelques substances il en est bien ainsi. (3)

Cependant, dans le cas de l'huile de paraffine, il ne suffit pas de tenir compte seulement de la densité, car la polarisation et l'ionisation sont également des facteurs importants. La densité et la polarisation diminuent quand la température augmente, en sorte que, dans le cas de l'huile de paraffine, l'accroissement de la constante diélectrique doit tenir à l'accroissement de l'ionisation avec la température. Quand les molécules se dissocient, le champ augmente par suite de l'attraction des ions libres électrisés. Les lignes de force du champ électrostatique traversent ainsi plus facilement le liquide, d'où une augmentation de la constante diélectrique. Ce facteur semble prédominant.

Les vues précédentes sont confirmées par les expériences qui montrent que l'ionisation et la constante diélectrique varient d'une manière parallèle en fonction de la température. Par exemple, la température (50 C) de transition relative à l'ionisation est aussi celle où la constante diélectrique commence à augmenter plus vite avec la température. Cependant la constante diélectrique ne dépend pas surtout de la conductibilité, car une substance peut avoir une constante diélectrique en dehors de toute conductibilité. Par exemple, l'auteur a étudié un échantillon de « micarta » au voisinage de la valeur de rupture (958°C) ; c'était un conducteur, car l'angle de perte diélectrique était voisin de 90°, mais il avait encore une constante diélectrique égale à 34,37. A 65°C et avec le même gradient, le micarta avait un angle de perte diélectrique égal à 21° 39′ 35″ et une constante diélectrique de 7,979.

Nature d'un diélectrique. — Les phénomènes dont les diélectriques sont le siège sont principalement en relation avec la répartition et les caractéristiques des molécules polarisées, c'est-à-dire des molécules électrisées positivement d'un côté et négativement de l'autre. Les relations directes de la constante diélectrique avec un certain nombre d'autres propriétés nettement moléculaires comme l'indice de réfraction, la dispersion, l'absorption et la constante capillaire, indiquent que la constante diélectrique est une propriété moléculaire.

La théorie relative à la nature de la polarisation, formulée par W.-M. Thornton (1), ne semble pas en désaccord avec les expériences précédentes. Cet auteur a trouvé que la polarisation est d'un type quasi-élastique. Il y a trois stades. Le premier suppose des changements rapides et se traduit par le réarrangement des charges atomiques à l'intérieur de la molécule. Pendant les deux autres stades, un effort de tension électrique s'établit dans la masse sous les nouvelles conditions du champ interne imposées par la première polarisation.

Dans le cas des gaz et des liquides, l'explication des phénomènes dont le diélectrique est le siège doit reposer sur une base cinétique plutôt que statique, à cause de la variation de la constante diélectrique en fonction de la température, du temps nécessaire pour produire des effets électrostatiques et des mouvements moléculaires dans les liquides et les gaz. Enfin les propriétés des diélectriques peuvent être influencées par l'ionisation, ce qu'on a trouvé être le cas pour l'huile de paraffine, dans les expériences précédentes.

En terminant, l'auteur signale que toutes ses expériences ont été réalisées au laboratoire des recherches de la Westinghouse Electric and Manufacturing Co, sous le patronage de M. C.-E. Skinner, directeur. Or ce dernier a imaginé des méthodes très précises pour la « Mesure des pertes diélectriques des isolants » ; nous les avons publiées dans la « Revue générale de l'Électricité », 31 août 1918, t. III, p. 219, ainsi que les résultats obtenus dans les essais d'isolement d'appareils en ordre de marche. Il est probable que la technique suivie par M. C.-H.-A. Butman a été calquée sur celle de M. Skinner.

A. B.

(1) A. Chernyshoff et C.-A. Butman. *Electric journal*, 1915.
(2) C.-W. Ackerman. *Ann. der Physik*, 1915, 4e série, t. XLVI, p. 199.
(3) On sait que A. Lorentz a proposé de représenter la variation de la constante diélectrique K avec la densité par la formule $\frac{K-1}{K+2}\frac{1}{d} = \text{const}$, a qui été vérifiée récemment par A. Occhialini (*Nuovo Cimento*, 1914, 7e série, t. VI, p. 108).

Comparaison des capacités par une méthode balistique de zéro (2).

En principe, on oppose à la décharge du condensateur à mesurer une décharge égale fournie par un condensateur étalon. A cet effet, les deux condensateurs sont chargés et

(1) Thornton. *Phil. Mag.*, 1910, p. 390.
(2) Ph. Thomas. *Journal of the Franklin Institute*, septembre 1918, t. CLXXXVI, p. 377-381, 1 fig.

Digitized by Google

déchargés n fois par seconde au moyen du dispositif schématisé en figure 1. K est un disque tournant en sens inverse des aiguilles d'une montre et isolé sur toute sa périphérie sauf un segment métallique représenté en noir qui occupe un angle de 89°. Les nombres 1 à 6 désignent quatre paires de balais, décalées de 90°, en sorte que jamais deux paires consécutives ne peuvent être connectées entre elles. C_1 est le condensateur dont on désire déterminer la capacité; C_2, le condensateur étalon, ordinairement constitué par un microfarad subdivisé. R_1 et R_2 sont des rhéostats à cadran étalonnés.

Quand le disque tourne, il connecte successivement les balais dans l'ordre 1 et 2, 2' et 3, 4 et 5, 5' et 6 et si le commutateur S est poussé dans la position A, le cycle suivant est réalisé à chaque tour: 1° 1,2; le condensateur C_2 est chargé à la tension V_1 égale à $\frac{V R_2}{R_1 + R_2}$;

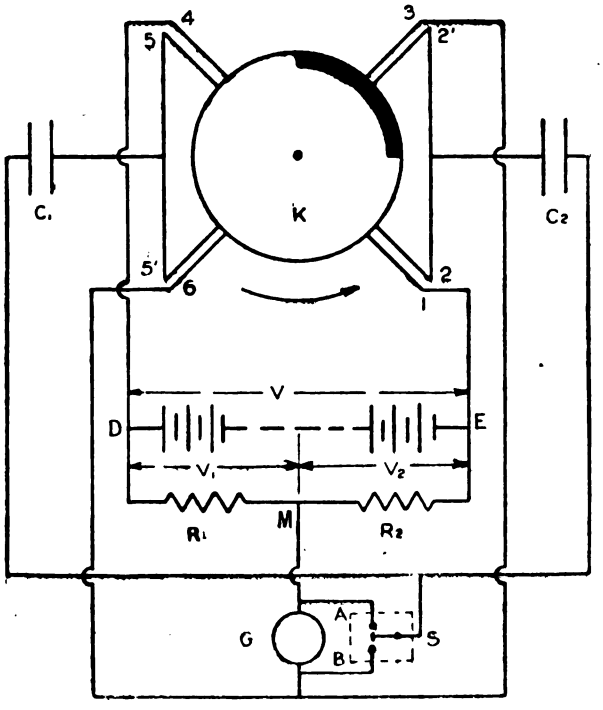


Fig. 1. — Schéma des connexions pour la comparaison des capacités par une méthode balistique de zéro.

2° 2',3; le condensateur C_2 se décharge à travers le galvanomètre;

3° 4,5; le condensateur C_1 est chargé à la tension V_1 égale à $\frac{V R_1}{R + R_2}$;

4° 5',6; le condensateur C_1 se décharge à travers le galvanomètre, mais en sens contraire à la décharge de C_2.

Il faut remarquer que la batterie de tension totale V est fermée sur les résistances R_1 et R_2; le courant débité I est, par conséquent, égal à $\frac{V}{R_1 + R_2}$. La différence de potentiel appliquée aux armatures de C_2, quand 1 et 2 sont connectés, est donc la chute entre M et E ou $R_2 I$; on a donc bien

$$V_2 = \frac{V R_2}{R_1 + R_2} \text{ etc.}$$

Si les décharges opposées sont égales, le galvanomètre restera au zéro; ce qui exige que l'on ait

$$n C_1 V_1 = n C_2 V_2;$$

ou, en remplaçant V_1 et V_2 par leurs valeurs ci-dessus,

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{R_2}{R_1}. \qquad (1)$$

On tire C_1 de cette formule

$$C_1 = C_2 \frac{R_2}{R_1}.$$

En poussant le commutateur S dans la position B, le galvanomètre recevra cette fois les impulsions de la charge; mais les valeurs obtenues pour C_1 dans les deux cas ne doivent pas différer de plus de 1 pour 100, si l'on veut compter finalement sur ce degré de précision; les différences doivent provenir de ce que les condensateurs n'absorbent pas ou ne perdent pas leur charge dans la même proportion.

La formule (1) ne tient pas compte de la capacité des connexions. Pour le condensateur C_2 la correction est négligeable pourvu qu'on lui donne une capacité assez grande; soit alors C_1 la capacité vraie de C_1 et c_1, celle des connexions; on a

$$C_1 = C'_1 + c_1 = \frac{C_2 R_2}{R_1}, \; C_1 \text{ étant connecté;}$$

$$c_1 = \frac{C_2 r_2}{R_1}, \; C_1 \text{ étant déconnecté.}$$

On tire de là

$$C'_1 = C_1 - c_1 = C_2 \left[\frac{R_2}{R_1} - \frac{r_2}{r_1}\right],$$

ou

$$C'_1 = \frac{C_2}{R_1}[R_2 - r_2]. \qquad (2)$$

si

$$R_1 = r_1.$$

La valeur vraie de C_1 s'obtient donc en retranchant de R_2 lu avec C_1 connecté, r_2 lu avec c_1 déconnecté et en multipliant la différence par $\frac{C_2}{R_1}$. La vitesse du disque ne doit pas être assez rapide pour empêcher la pleine charge du condensateur, quelle que soit sa capacité. Heureusement, quand la condition de vitesse est réalisée pour C_1, elle l'est aussi pour C_2 puisque les constantes de temps $C_1 R_1$ et $C_2 R_2$ sont égales d'après l'équation (1), une fois l'équilibre atteint. Cette condition de vitesse, néanmoins, impose une limite supérieure au produit $n C R$; en pratique, la vitesse maximum admissible se déduit d'une courbe relevée avec l'appareil.

La limite supérieure de la capacité ou de la tension est déterminée par l'apparition de fortes vibrations forcées de l'équipage mobile, vibrations dues à ce fait que les impul-

Digitized by Google

sions de la charge ou de la décharge, tout en étant égales, n'atteignent pas au même instant le galvanomètre, mais sont décalées d'un demi-tour. Naturellement, l'étalement du spot qui en résulte diminue la précision des mesures. La limite inférieure de la précision dépend de la valeur de la capacité des connexions par rapport aux capacités à mesurer.

La méthode est d'une application facile; sa sensibilité dépend uniquement de la sensibilité du galvanomètre; or on ne peut même pas employer un galvanomètre trop sensible à cause des petites tensions induites par le frottement du disque en rotation qui troubleraient les mesures. Avec un instrument capable de déceler un courant de 10^{-9} A, on arrive à déterminer une capacité de 10^{-10} farads avec une précision de 1 pour 100 et en utilisant comme tension de charge quelques volts seulement.

Comme ni la tension, ni la vitesse du disque, n'entrent dans la formule (2), il est possible de construire des courbes de variation de la capacité en fonction de la tension, le nombre de charges ou décharges restant constant, ou inversement. Ces deux facteurs ayant une influence assez restreinte sur les variations de la capacité, il n'est pas nécessaire, par conséquent, de les connaître avec une très grande précision.

Il faut remarquer encore que la sensibilité et la précision sont indépendantes des valeurs relatives de C_1 et C_2 pourvu que les résistances soient connues exactement dans un intervalle quelconque; on peut donc prendre C_1 très petit et C_2 très grand, un microfarad étalon subdivisé par exemple. C'est un avantage que ne possède aucune autre méthode de comparaison des capacités. L'auteur travaille ordinairement avec $C_2 = 0{,}05$ µf et $R_1 = 5\,000$ ohms. Ces valeurs, introduites dans (2), donnent

$$C_1 = 10^{-11}\,(R_2 - r_2).$$

Quand le condensateur C_1 est mis hors circuit, on constate que le galvanomètre est sensible à une division du rhéostat soit 1/10 ohm, la tension V de charge étant 10 v; une fois l'équilibre établi, on trouve, pour une valeur particulière de C_1, $5{,}4 \times 10^{-11}$ farad. Si l'on veut une précision d'au moins 1 pour 100, il ne faut pas que C_1 descende au-dessous de 10^{-10} farad.

L'auteur construit un disque à deux segments de 45° chacun au lieu de 90°. On emploiera des paires de balais décalées aussi de 45°. Les charges Q_1 et Q_2 atteindront le galvanomètre au même instant et on éliminera de cette façon les vibrations forcées de l'équipage mobile. Avec quelques modifications, l'appareil permet de mesurer les résistances d'isolement aussi bien que les capacités. Les résultats obtenus dans ces conditions feront l'objet d'une communication ultérieure. B. C.

Chaleur atomique du tungstène et du carbone aux températures de l'incandescence (1).

On sait, d'après la loi de Dulong et Petit, que, pour les corps solides à volume constant, le produit de leur chaleur spécifique par leur poids atomique est un nombre constant égal à 5,95 calories par atome-gramme et par degré. Pendant ces dernières années, on a particulièrement étudié ces chaleurs atomiques aux très basses températures et les variations constatées ont été interprétées d'une façon très plausible en se basant sur l'hypothèse des quanta. Un certain nombre de substances, cependant, ont des chaleurs atomiques bien supérieures au nombre indiqué ci-dessus, même à des températures s'échelonnant de la température ambiante jusqu'à 700-800° C. Aucune théorie n'a pu jusqu'ici donner une explication de ces valeurs excessives. Le tungstène précisément rentre dans cette catégorie de corps exceptionnels et c'est ce métal, monté sous forme de filament dans une ampoule à vide, que l'auteur a soumis à de nouvelles déterminations de la capacité calorifique au Nela Research Laboratory. Le filament est chauffé par le passage d'un courant; on a, dans ces conditions, entre l'énergie $IV\,dt$ fournie dans un temps dt, d'une part; les pertes par rayonnement $f(\Theta)\,dt$ et la chaleur emmagasinée, $C_p\,m\,d\Theta$, d'autre part, la relation

$$IV = f(\Theta) + C_p m \frac{d\Theta}{dt};$$

I, courant; V, tension; Θ, température; C_p, chaleur spécifique et m, masse. L'équation est vraie, soit que l'on chauffe, soit qu'on laisse refroidir le corps. Mais il y a intérêt à faire intervenir la résistance R du filament et alors l'équation prend la forme

$$IV = f(R) + C_p m \frac{d\Theta}{dR} \cdot \frac{dR}{dt};$$

elle signifie que la température et les pertes par rayonnement sont fonction de la résistance. En gros, l'auteur indique que son dispositif expérimental consiste en un pendule et un potentiomètre. En écartant le pendule de sa position d'équilibre, on fait varier d'abord la résistance insérée dans le circuit du filament; puis, au bout d'un temps déterminé, le pendule ferme momentanément le circuit d'un galvanomètre sur le potentiomètre, ce qui permet de mesurer I et V; R se déduit de ces dernières valeurs et Θ se lit sur la courbe préalablement établie de la variation de Θ en fonction de R. Les résultats montrent qu'il y a des différences entre les nombres obtenus par refroidissement et ceux obtenus par réchauffement; ce qui tendrait à prouver que les watts consommés et la température ne sont pas des fonctions simples de la résistance du filament, comme on l'a supposé. D'une manière générale, on peut dire que les chaleurs atomiques sont assez bien représentées par une fonction linéaire de la température absolue. L'auteur a trouvé 6,25 à 1 200° K et 7,25 à 2 400° K. Pour le carbone, on a trouvé 5,35 à 1 200° K et 6,05 à 2 000° K à pression constante; mais si l'on fait la correction pour se placer dans les conditions de volume constant, ces deux nombres convergent vers 5,95 en accord avec les expériences de Weber aux températures ordinaires et avec celles de Magnus aux hautes températures.

(1) A.-G. Worthing. *Journal of the Franklin Institute*, mai 1918, t. CLXXXV, p. 707-708.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

L'usine hydro-électrique de l'Ance de la Compagnie électrique de la Loire et du Centre

L'usine hydro-électrique de l'Ance, de la Compagnie Electrique de La Loire et du Centre, qui alimente la région très industrielle de Saint-Etienne a été mise en service dans le courant de l'année 1916 et peut débiter annuellement 30 millions de kilowatts-heures environ : l'économie de charbon qui en est résultée peut se chiffrer par 45 mille tonnes de charbon par an. Nous donnons dans cette première partie un historique des travaux exécutés presque entièrement pendant la guerre et une description détaillée des ouvrages créés pour l'utilisation de la chute de l'Ance ainsi que de l'usine elle-même. La seconde partie parlera plus particulièrement de l'installation électrique de cette station centrale.

Introduction. — La Compagnie électrique de la Loire et du Centre a été constituée en novembre 1912 par la fusion de la Compagnie électrique de la Loire et de l'Energie électrique du Centre, elle constitue actuellement l'une de nos plus puissantes entreprises régionales de distribution d'énergie électrique; elle dessert, en

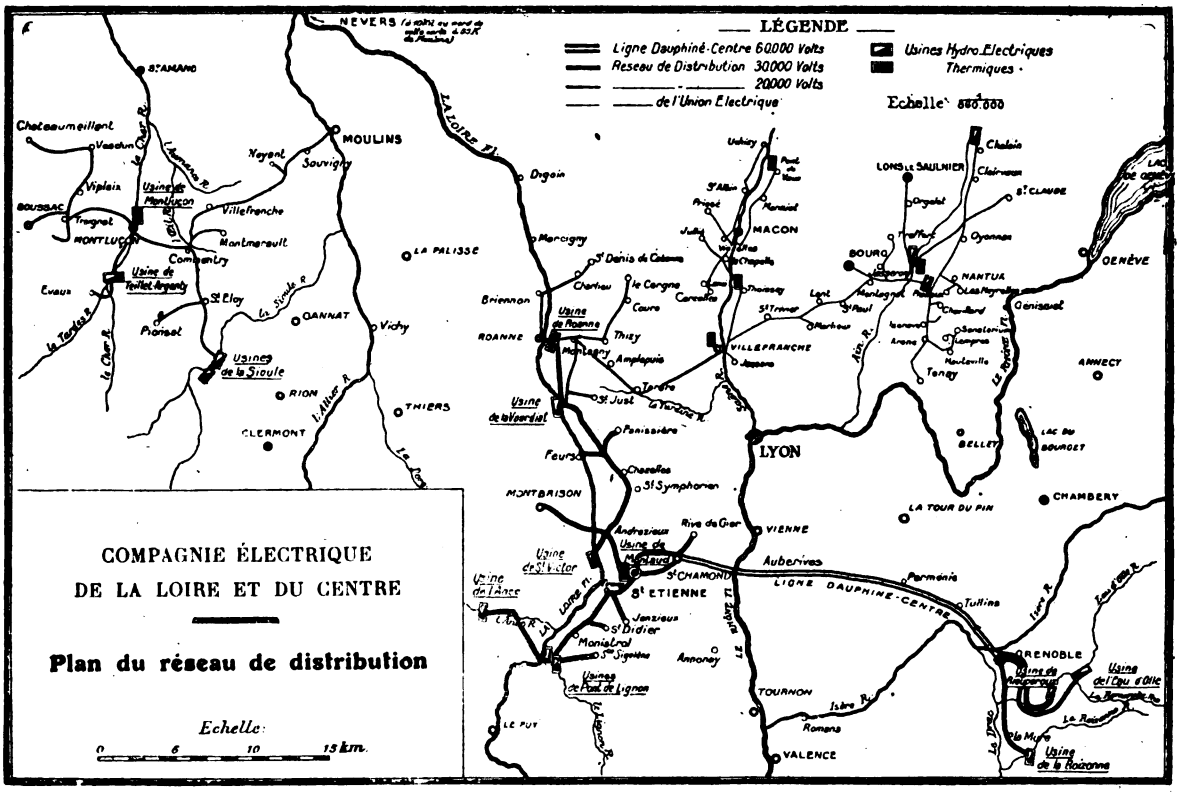


Fig. 1. — Plan du réseau de la Compagnie électrique de la Loire et du Centre.

effet, les régions très industrielles de Montluçon, de Roanne et surtout de Saint-Etienne qui étaient, déjà avant la guerre, des centres très importants et où les événements ont provoqué un développement très remarquable des industries de guerre.

La Compagnie électrique de la Loire et du Centre

Digitized by Google

dispose actuellement de six usines hydro-électriques représentant une puissance installée de 33 000 ch environ; en outre, pour parer à l'instabilité des débits des rivières de la région du Plateau Central, la Société possède des réserves thermiques presque égales à sa puissance hydro-électrique. Ces réserves comportent actuellement une puissance installée d'environ 31 000 ch, qui va être portée prochainement à 38 500 ch par l'installation d'un nouveau groupe turbo-alternateur actuellement en montage à l'usine de Montaud à Saint-Etienne. De plus, la Société achète annuellement 2 millions de kw-h à la Société du Gaz de Clermont et elle a passé des contrats de fournitures avec la Société d'Eclairage de Grenoble, avec la Société de Rioupéroux

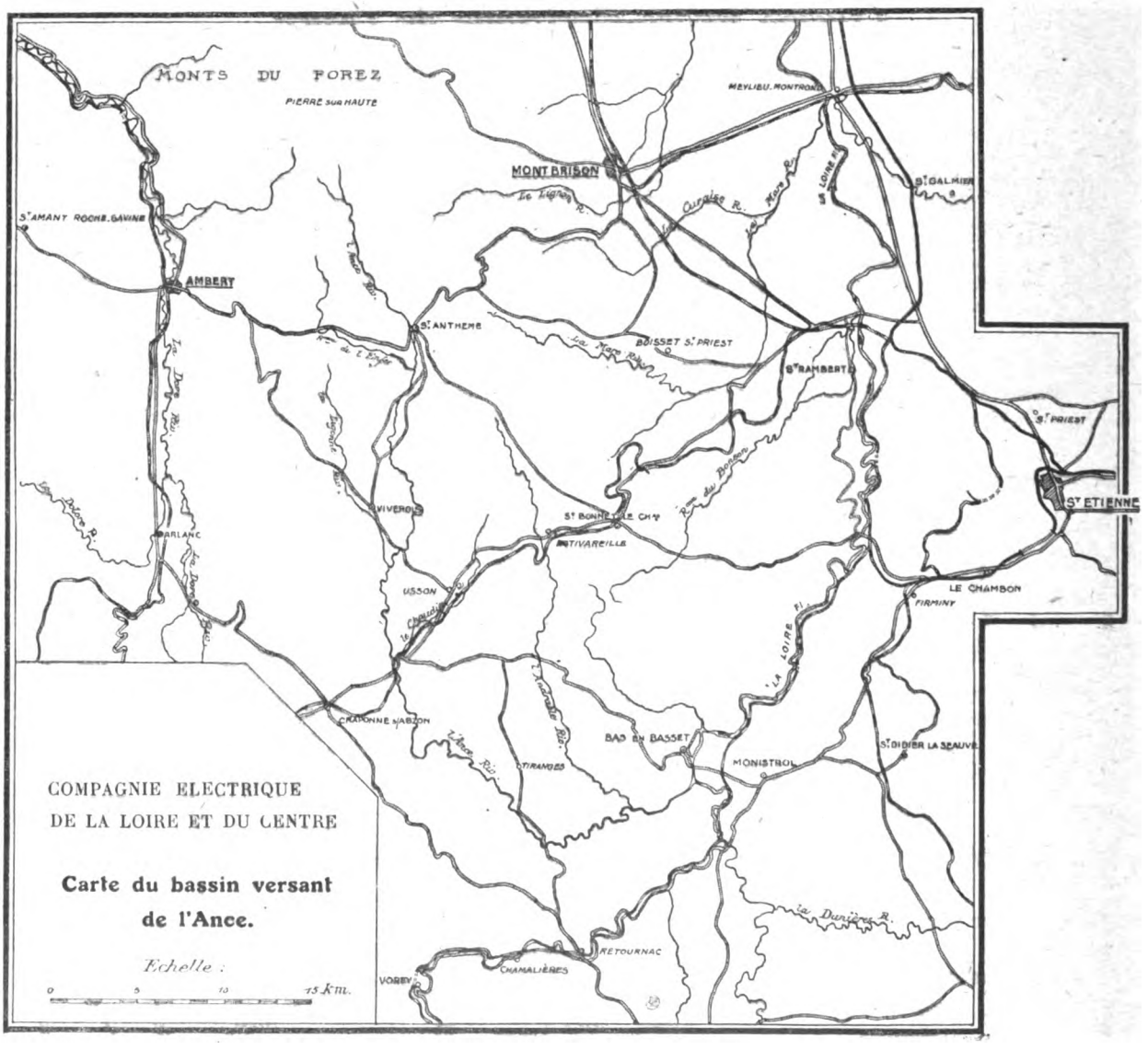


Fig. 2. — Carte du bassin versant de l'Ance.

et la Société hydro-électrique de l'Eau d'Olle; l'énergie provenant de ces dernières usines hydrauliques situées dans la région de Grenoble est amenée à Saint-Etienne à 60 000 v par la ligne Dauphiné-Centre, comme le montre la carte figure 1.

Le total de la puissance provenant de ces différentes sources de production dépasse 90 000 ch.

Nous n'entreprendrons pas de décrire dans cette étude toutes les usines du réseau de la Compagnie électrique de la Loire et du Centre qui, pour la plupart, sont bien connues; nous nous bornerons à donner une monographie de la plus récente de ces usines hydro-électriques, celle de l'Ance du Nord.

Signalons cependant encore que la consommation du réseau ne cessant de croître et dépassant largement la production des usines hydro-électriques, la Société, pour éviter d'avoir recours aux usines thermiques autrement que comme secours, s'est préoccupée d'amé-

Digitized by Google

nager de nouvelles chutes. De concert avec les Aciéries de la Marine, elle a constitué l'Energie électrique de la Basse-Isère qui a commencé au début, de 1917, les travaux d'installation d'une usine à Beaumont-Monteux dont la puissance est prévue pour 38 000 ch et une fourniture de 125 millions de kw-h par an. De plus, les études d'aménagement d'une chute de 29 000 ch, dite « Chute de l'Ance du Sud », sur un affluent de l'Allier et sur l'Allier lui-même sont très avancées.

Situation. Régime météorologique de l'Ance du Nord. Conditions générales d'aménagement. — L'usine hydro-électrique de l'Ance est située à Moulas, commune de Tiranges (arrondissement d'Yssingeaux, Haute-Loire) à 8 km environ de la station de Retournac sur la ligne de Saint-Etienne au Puy.

Elle est actionnée par l'Ance du Nord qui, à la traversée des gorges souvent très boisées que dominent les ruines du château de Chalançon, présente sur un parcours de 8 km environ une dénivellation de plus de 150 m correspondant à une pente moyenne de 2 cm par mètre.

Avant de décrire les ouvrages exécutés pour l'utilisation de cette chute, il paraît utile de donner quelques renseignements sur le régime de l'Ance du Nord.

L'Ance du Nord, affluent de gauche de la Loire (carte fig. 2), a 65 km de développement; elle prend sa source à 1 450 m d'altitude, dans le département du

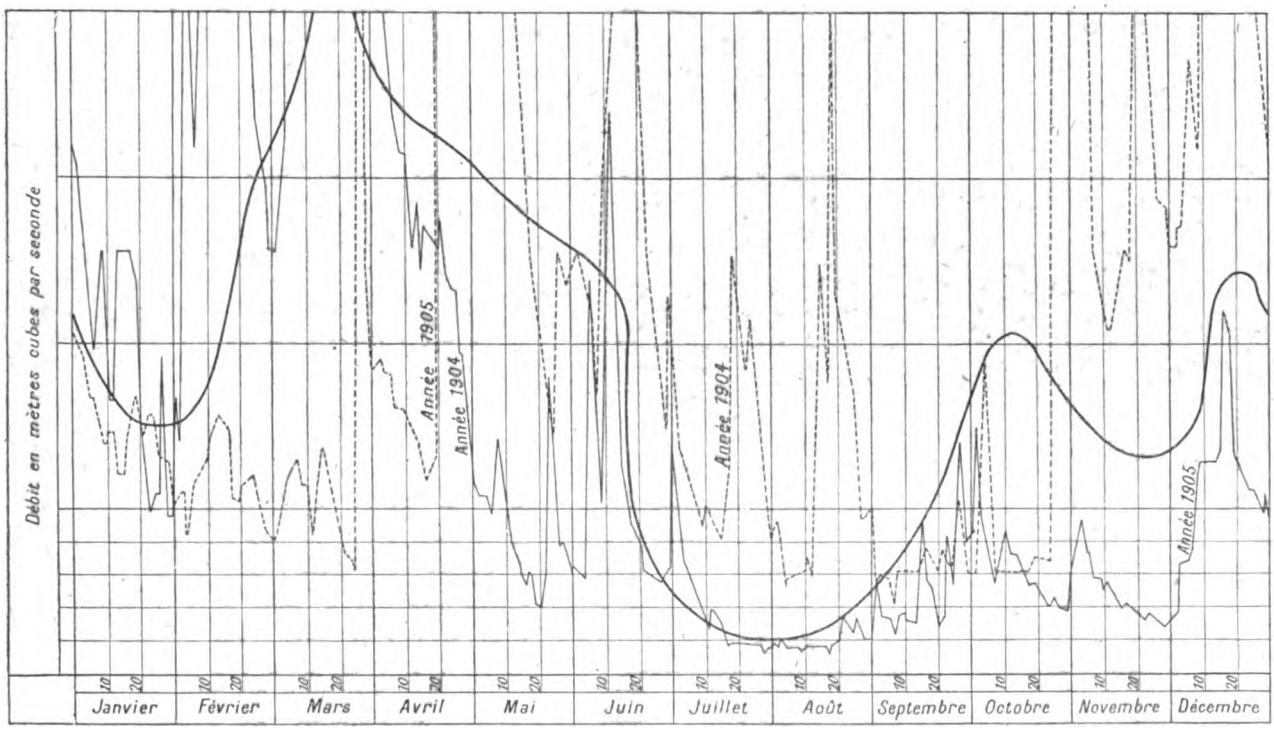


Fig. 3. — Graphiques des débits de l'Ance et courbe saisonnière des débits.

Puy-de-Dôme, au sud-est du signal de Pierre-sur-Haute, point culminant des monts du Forez. Elle entre dans la Haute-Loire après avoir reçu le ruisseau d'Enfer, la Ligonne et le Chandieu. Elle est encore grossie de l'Andrable, venu également du Puy-de-Dôme, et se jette dans la Loire vers l'altitude 440 au-dessus de Bas-en-Basset. Le bassin versant dont l'altitude moyenne est de 950 m mesure 540 km² de superficie. L'ensemble de ce bassin est situé sur les terrains éruptifs du massif central (granit, granulite gneissique, basaltes et phonolites) avec quelques affleurements de sable feldspathique dans le flanc de la vallée et d'étroites bandes d'alluvions modernes dans le fond. Ses versants sont très imperméables et à pentes très rapides; son régime absolument torrentiel.

Le pays est d'une façon générale froid et pauvre : prairies et forêts de pins sur les plateaux; beaucoup de rochers et de terres incultes dans les ravins étroits et profonds.

Le climat y est très rude avec de brusques variations de température. Les hauts sommets attirent les orages, la grêle et les pluies torrentielles qui fréquemment, en été, ravagent les vallées. En hiver, d'abondantes chutes de neige provoquent souvent des amoncellements importants.

Les annales météorologiques donnent les résultats des observations pluviométriques pour les stations d'Usson (à 915 m d'altitude) et d'Estivareilles (à 895 m d'altitude), situées toutes deux dans le bassin de l'Ance du Nord, ainsi que pour la station de Bas-en-Basset (à 457 m d'altitude), située à 2 km en aval de son confluent avec la Loire.

Digitized by Google

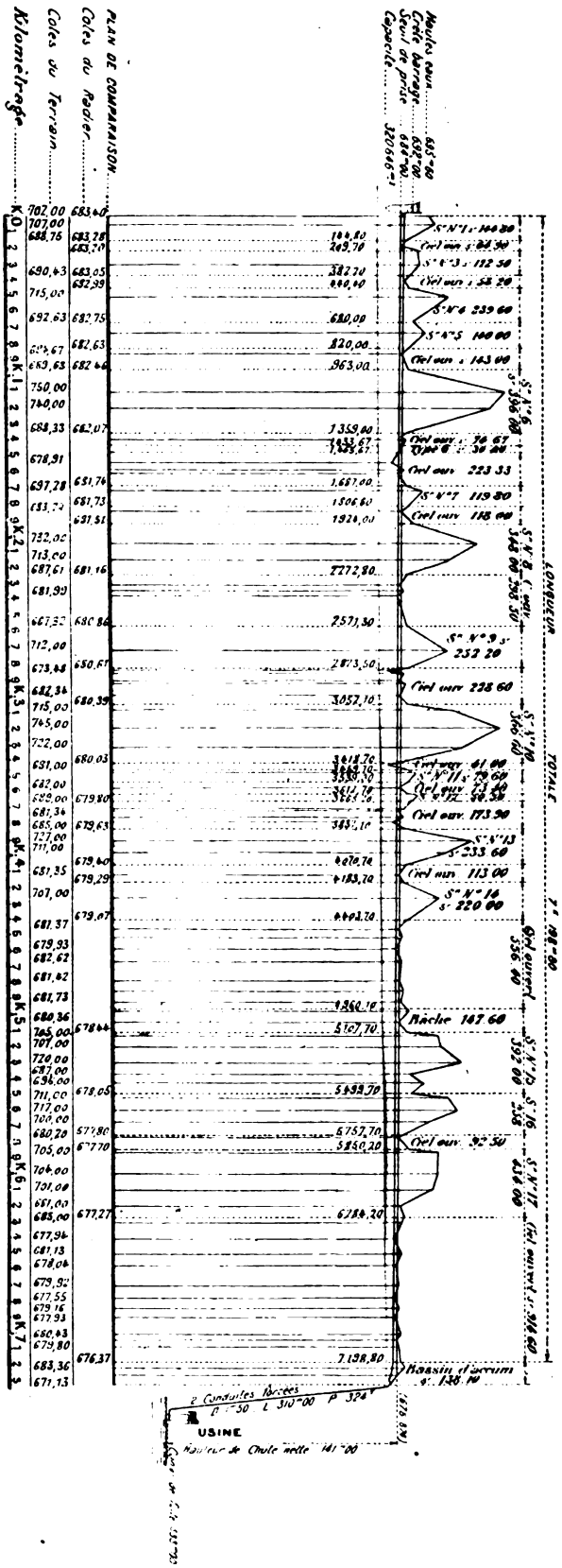
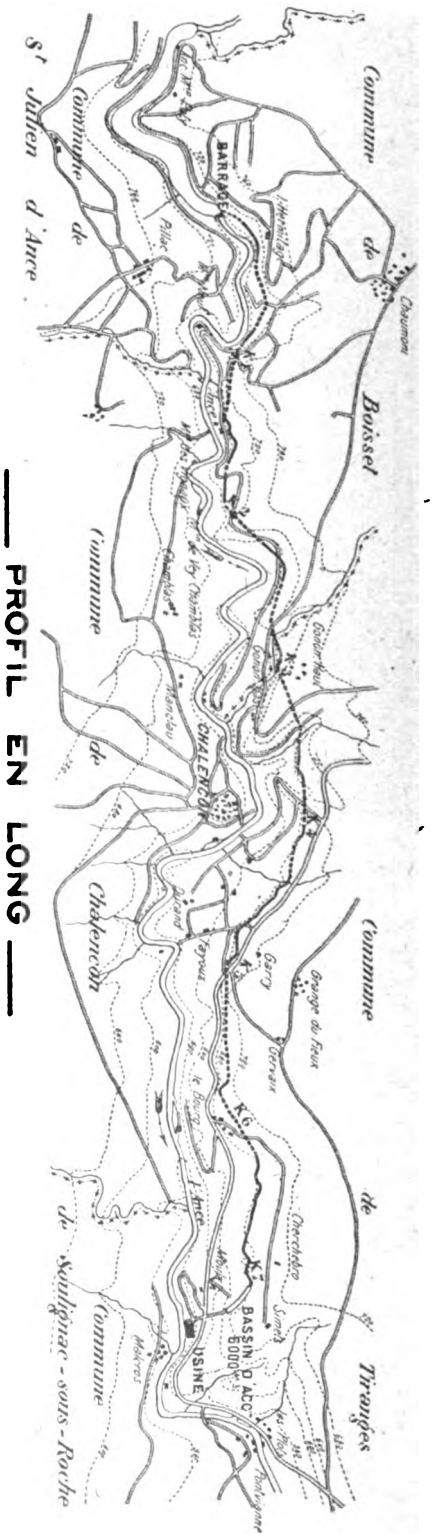


Fig. 4. — Plan synoptique des travaux.



Digitized by Google

Le vent dominant à la station de Montbrison, voisine du bassin, est le vent du Nord-Ouest.

Le régime de l'Ance du Nord est connu notamment par une série de mesures effectuées quotidiennement pendant cinq années consécutives, de 1901 à 1905, vers le moulin de Passaouria (commune de Boisset), où le bassin versant est de 350km².

De l'examen du graphique (fig. 3), où sont figurés les résultats de ces mesures, il résulte que l'Ance est sujette à toutes les époques de l'année à des crues subites, conséquence du climat et de la configuration géologique du bassin. Le plus faible débit constaté est de 600 litres par seconde (juillet 1904).

La courbe saisonnière des débits et la courbe de régime déduites de ces graphiques font ressortir un débit semi-permanent (disponible pendant cent quatre-vingts jours) de 8 m³ : sec et un débit caractéristique d'étiage de 1 m³ : sec. Le débit moyen annuel ou module est 10 m³ : sec.

D'autre part, d'après les renseignements recueillis dans la région, le débit des crues exceptionnelles n'avait pas dépassé 400 m³ : sec à l'emplacement de la station de jaugeage.

Si l'on compare ces débits aux observations pluviométriques, on trouve pour le coefficient moyen de ruissellement : 0,91, proportion élevée et qui tient sans doute au défaut d'observation des chutes de neige.

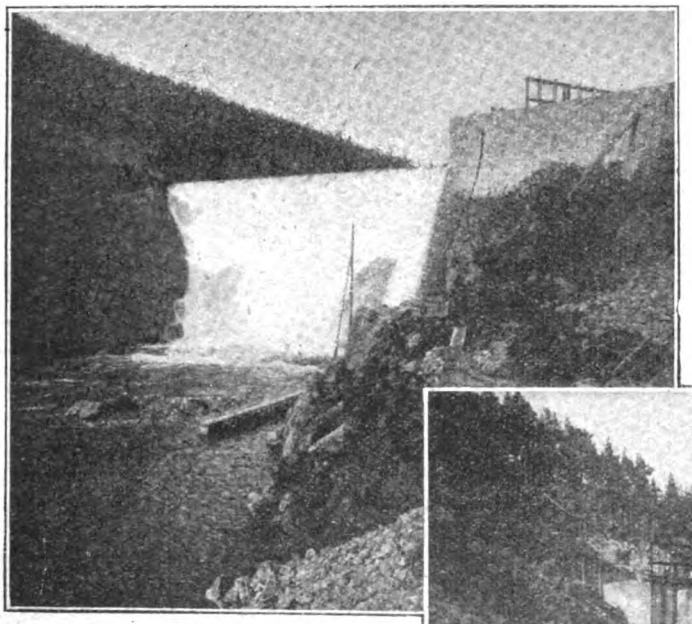
Conditions générales d'aménagement de la chute. — L'usine de l'Ance utilise la chute de l'Ance du Nord entre le niveau de la retenue au lieu dit Passaouria, commune de Boisset, où est construit le barrage et le canal de fuite de l'usine à Moulas, commune de Tiranges (fig. 4). L'usage de la prise d'eau sollicité à la date du 18 février 1913 par la Société d'Etudes des Forces hydrauliques de l'Ance (1) a été réglementé par arrêté préfectoral en date du 26 septembre 1914.

Le niveau de la crête du barrage dans la partie formant déversoir sur 37 m de longueur est fixé à la cote (690,85) du nivellement général de la France (2). Le même arrêté fixe également le débit minimum à laisser dans la rivière.

La capacité de la retenue utilisable ainsi créée est de 320 646 m³.

Le canal d'amenée se développe sur le versant rocheux de rive gauche sur une longueur de 7,190 km dont 3 847 m en souterrain. Sa section mouillée (7 m²) et sa pente (0,001) sont déterminées pour un débit maximum de 12 m³ : sec, égal à une fois et demie le débit semi-permanent.

Les conduites forcées, au nombre de 2, ont 1,50 m de diamètre; elles partent du bassin d'accumulation et aboutissent à l'usine située également sur la rive gauche. La hauteur de chute nette est de 141 m. Dans ces conditions, la puissance maximum réalisable est de 17000 ch. Pour le débit semi-permanent, la puissance s'abaisse à 14500 ch et à 4 200 ch pour le débit caractéristique d'étiage.



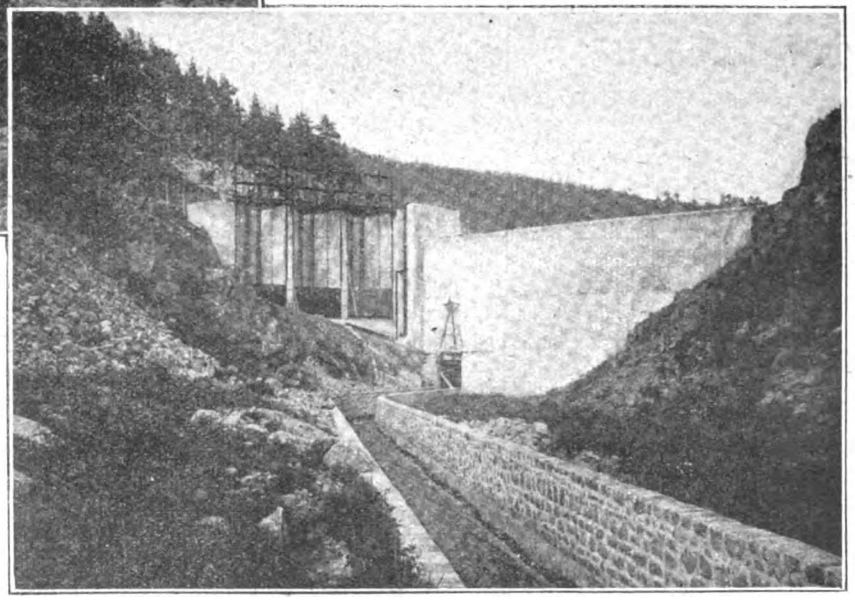


Fig. 5 et 6. — Vues du barrage et des ouvrages régulateurs.

L'énergie annuelle théoriquement disponible dans le courant d'une année moyenne est de 70 millions de kilo-

(1) Cette Société a depuis cédé tous ses droits à la Compagnie électrique de la Loire et du Centre.

(2) Les cotes des dessins sont reportées à un plan conventionnel. On doit les réduire de 1,146 m pour les ramener au nivellement général de la France.

Digitized by Google

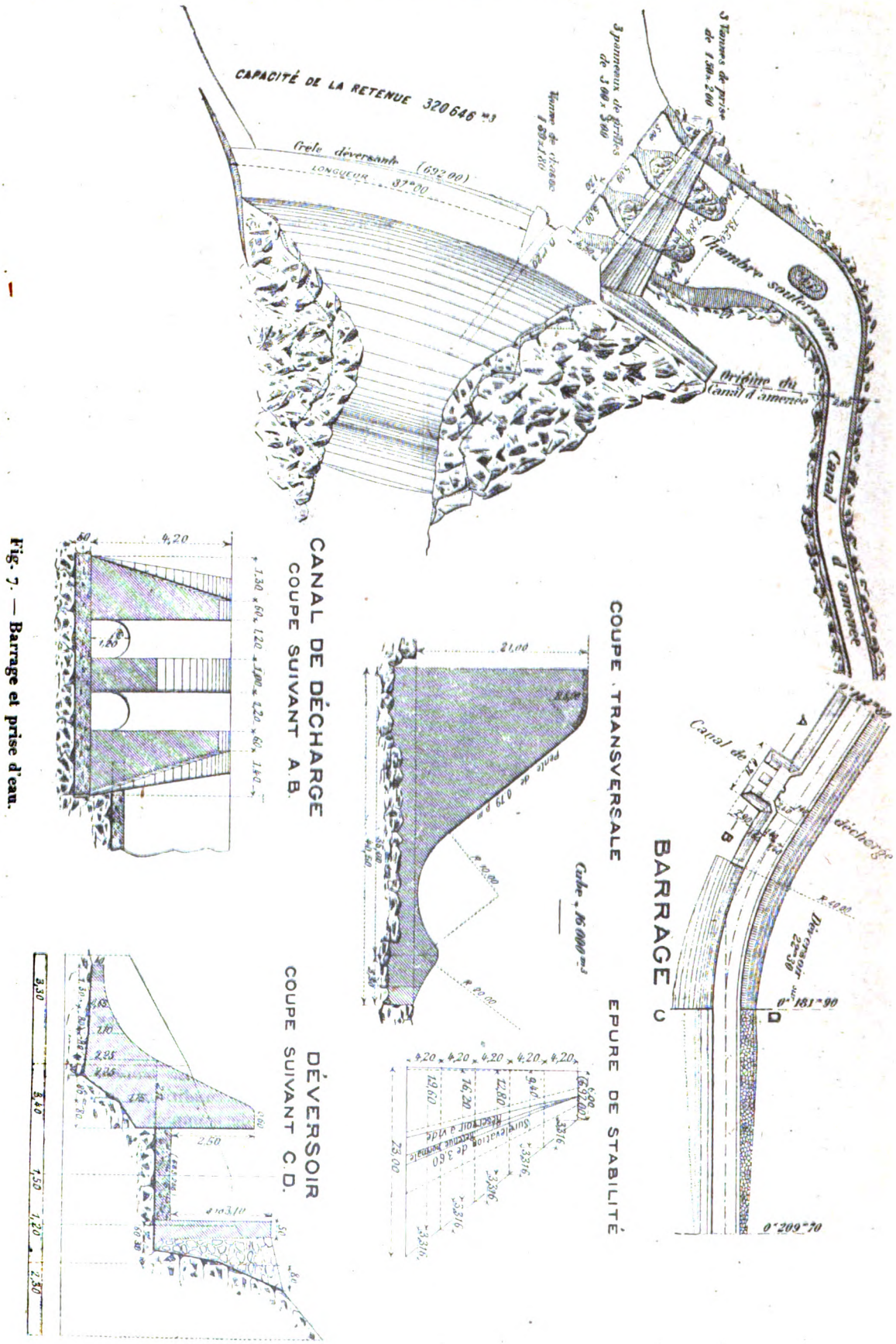


Fig. 7. — Barrage et prise d'eau.

Digitized by Google

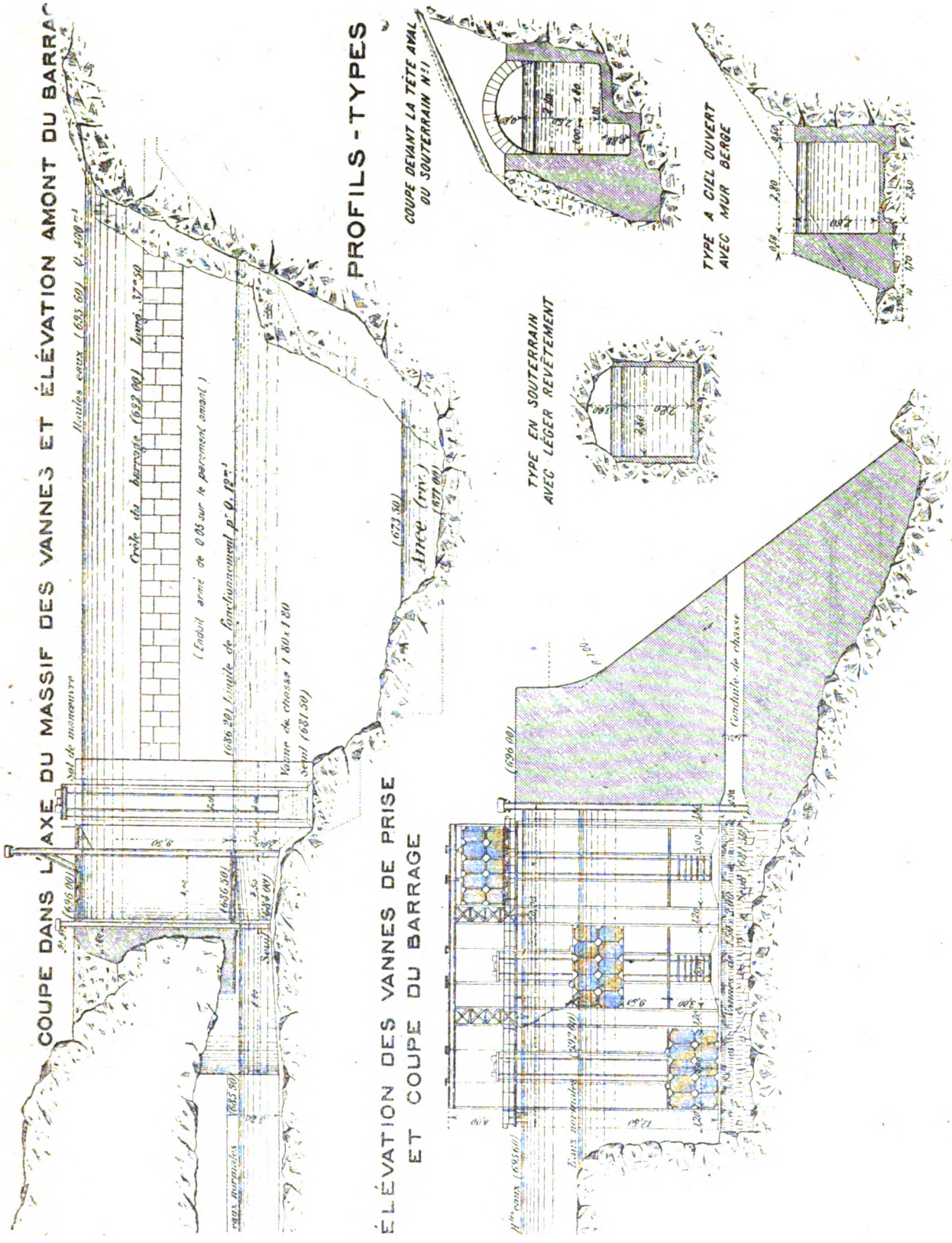


Fig. 8. — Barrage et prise d'eau.

Digitized by Google

watts-heure qui, par le jeu de la retenue, pourrait être décomposée en 46 000 000 kw-h de jour et 24 000 000 kw-h de nuit.

Description des ouvrages. — Barrage de Passaouria (fig. 5, 6 7 et 8). — Cet ouvrage, à profil trapézoïdal, est du type submersible; il est construit en maçonnerie de moellons de granit hourdée au mortier de chaux hydraulique du Teil; sa hauteur, entre le sol des

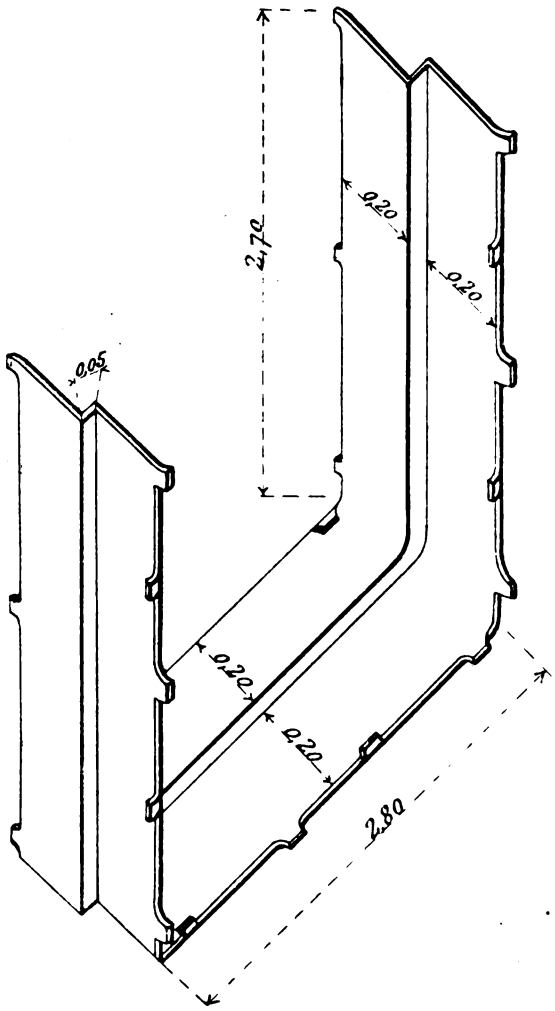


Fig. 9. — Joints flexibles des murs de berge.

fondations et la crête déversante, est de 21 m; ses fondations sont encastrées à faible profondeur dans la roche de granit dur existant, tant sous le lit de la rivière, que sur les flancs de la vallée. Le parement d'amont est dressé avec un fruit de 0,02 m par mètre. Le couronnement est exécuté en moellons d'appareil. Le parement d'aval présente une pente de 0,79 m par mètre; il est complété par un coursier en maçonnerie avec contre-barrage destiné à atténuer le choc des grandes crues.

En plan, le barrage a la forme d'un arc de cercle de 100 m de rayon; la crête déversante a 37,50 m de développement.

Le couronnement du massif de la vanne de chasse située sur la rive gauche est arasé à 0,40 m au-dessus du niveau prévu pour les plus hautes eaux exceptionnelles correspondant à une lame déversante de 3,60 m d'épaisseur. Le barrage a été calculé de sorte que la pression à l'extrémité des joints horizontaux ne dépasse pas 2,9 kg : cm².

Prise d'eau. — Le seuil de la prise d'eau ménagée dans le massif latéral de rive gauche est arasé à 8 m en contrebas de la crête déversante du barrage.

La prise comporte trois galeries débouchant dans une chambre souterraine qui précède immédiatement le

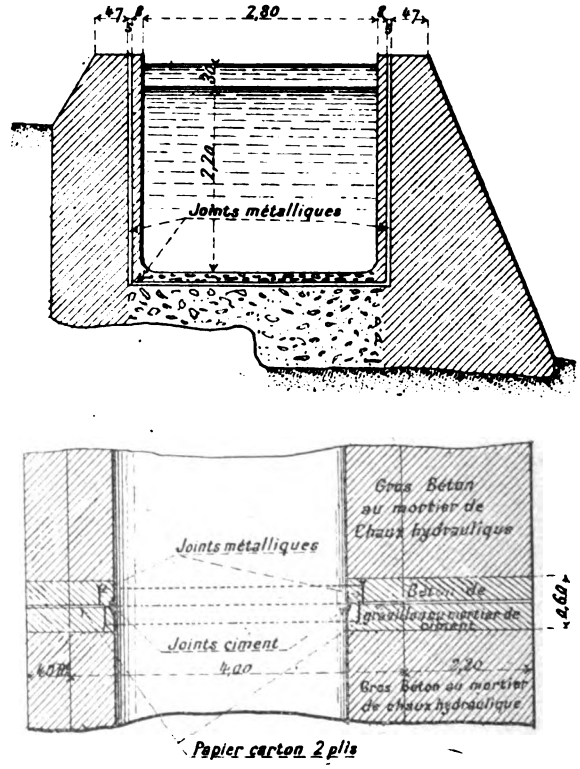


Fig. 9 *bis*. — Coupe et plan.

canal d'amenée. L'entrée de l'eau dans ces galeries est commandée par trois vannes de 1,50 m × 2 m, actionnées par des crics de 18 t à triple engrenage, en avant desquelles sont disposés trois panneaux de grilles mobiles de 3 m × 5 m à barreaux de 7 mm espacés de 20 mm. Le couronnement du massif de prise, arasé à 0,40 m au-dessus du niveau des plus hautes eaux, constitue le sol de manœuvre des vannes et des grilles mobiles.

La vanne de chasse, de 1,8 m × 1,8 m est ménagée dans le barrage en avant de la prise.

Canal d'amenée. — Dans les parties en souterrain, le canal d'amenée est constitué par une galerie de 2,8 m de largeur, simplement taillée dans le rocher avec un léger revêtement des piédroits dans les terrains imper-

Digitized by Google

méables et entièrement maçonnée dans les terrains fissurés.

Dans les parties à ciel ouvert, ce canal se développe à flanc de coteau. Les maçonneries, d'abord exécutées en moellons de granit rejointoyés en ciment, furent ensuite exécutées en gros béton avec mortier de chaux hydraulique et enduit de ciment à l'intérieur.

Un joint de dilatation a été prévu (fig. 9) pour éviter la production des fissures, tous les 25 m environ. Celui-ci est constitué par une feuille métallique coudée épousant le profil du canal, derrière laquelle la maçonnerie est interrompue complètement par un double pli de papier carton, ce qui lui permet de jouer librement.

Le joint métallique en tôle de fer doux de 1 mm d'épaisseur est scellé dans la masse du mur par des onglets retroussés disposés sur ses bords. Ce joint métallique assure l'étanchéité tout en suivant les mouvements du mur.

Ouvrages spéciaux sur le cours du canal d'amenée. — Dans le premier tronçon à ciel ouvert du canal d'amenée est établi un ouvrage régulateur composé d'un déversoir de 22,3 m de longueur destiné à évacuer, en cas de défaut de manœuvre des vannes, le trop-plein qui pourrait s'introduire dans le canal.

Un canal de décharge est établi à l'amont de ce déversoir.

Une fosse à sable, avec vannes de décharge, est ménagée sur le cours du canal.

Les ravins rencontrés sont traversés au moyen de passages inférieurs ou de passages supérieurs.

Des passerelles sont établies sur le canal à la traversée des chemins rencontrés. Le canal emprunte deux bâches en béton armé à la traversée des terrains éboulés.

Bassin de mise en charge (fig. 10 et 11). — Le bassin de mise en charge, à l'extrémité aval du canal d'amenée, en tête des conduites forcées, a une capacité de 6 000 m³. Il comporte un déversoir et deux vannes de chasse desservis par un même canal de décharge de 392 m de longueur.

Un réservoir éventuel de 14 000 m³ communiquant par un double pertuis avec le bassin d'accumulation a été prévu.

La tête de chacune des conduites forcées est commandée par une vanne et défendue par une grille à barreaux de 10 mm espacés de 18 mm avec passerelle de nettoyage et double rangée de rainures à poutrelle à l'amont. Un canal de purge commandé par des bondes de fond est placé immédiatement en avant des conduites et destiné à l'évacuation de dépôts sableux.

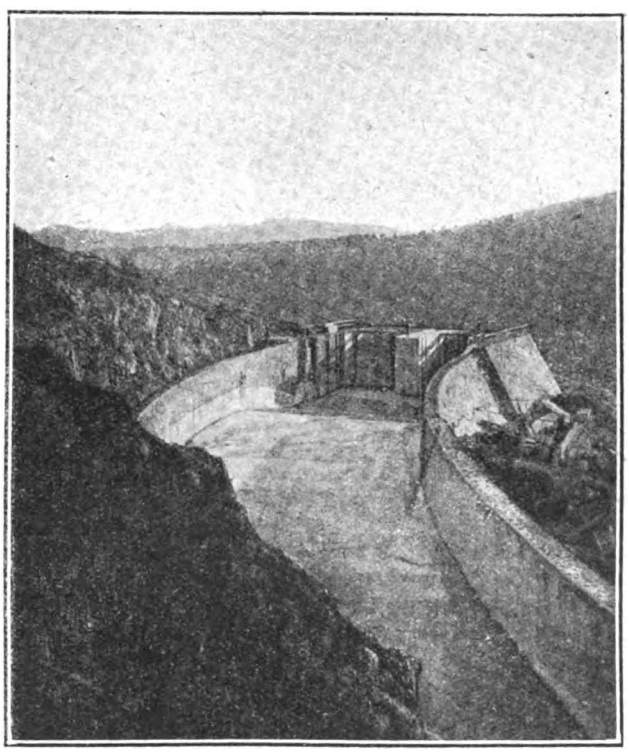


Fig. 10. — Bassin de mise en charge (vue prise pendant les travaux).

Conduites forcées. — Les deux conduites forcées de 1,50 m de diamètre ont été fournies par les Etablissements Bouchayer et Viallet, de Grenoble. Elles sont constituées par des tuyaux en tôle, rivées sur 180 m de longueur et soudées sur 100 m dans la partie inférieure (fig. 12).

Elles seront raccordées au collecteur, l'une au moyen d'un tronçon conique et l'autre au moyen de raccords à angle droit (fig. 15).

Elles reposent sur des massifs en maçonnerie, et sont ancrées dans un massif spécial vers le milieu de leur longueur. Elles traversent par en-dessous le chemin de grande communication n° 24 et passent également sous le chemin d'accès à l'usine.

Usine génératrice. — L'usine de l'Ance, située au bord de la rivière (fig. 13), est entièrement construite en pans de fer, elle se divise en deux parties :

1° La salle des machines (longueur 34 m, largeur 13,50 m) comprenant en-dessous de son plancher une galerie en forme de voûte en plein cintre de 3,70 m de hauteur sur 3 m de largeur, qui contient les barres 5 700 v venant des alternateurs et allant alimenter la boucle située sous le tableau.

La salle des machines est desservie par un pont roulant de 15 tonnes.

A l'extrémité de la salle des machines se trouve la salle de la boucle 5 700 v (largeur 13,70 m, profondeur 6,60 m., hauteur 3,53 m); l'appareillage qui s'y trouve sera plus loin l'objet d'une description détaillée. Le tout est couronné par un plancher formant estrade supportant les pupitres et le tableau.

2° Dans le prolongement de la salle des machines, le poste de transformation de 19,25 m de longueur sur 17,25 m de largeur qui comporte des cours voûtées et trois étages divisés en cellules renfermant les transformateurs et l'appareillage haute tension (fig. 15).

Digitized by Google

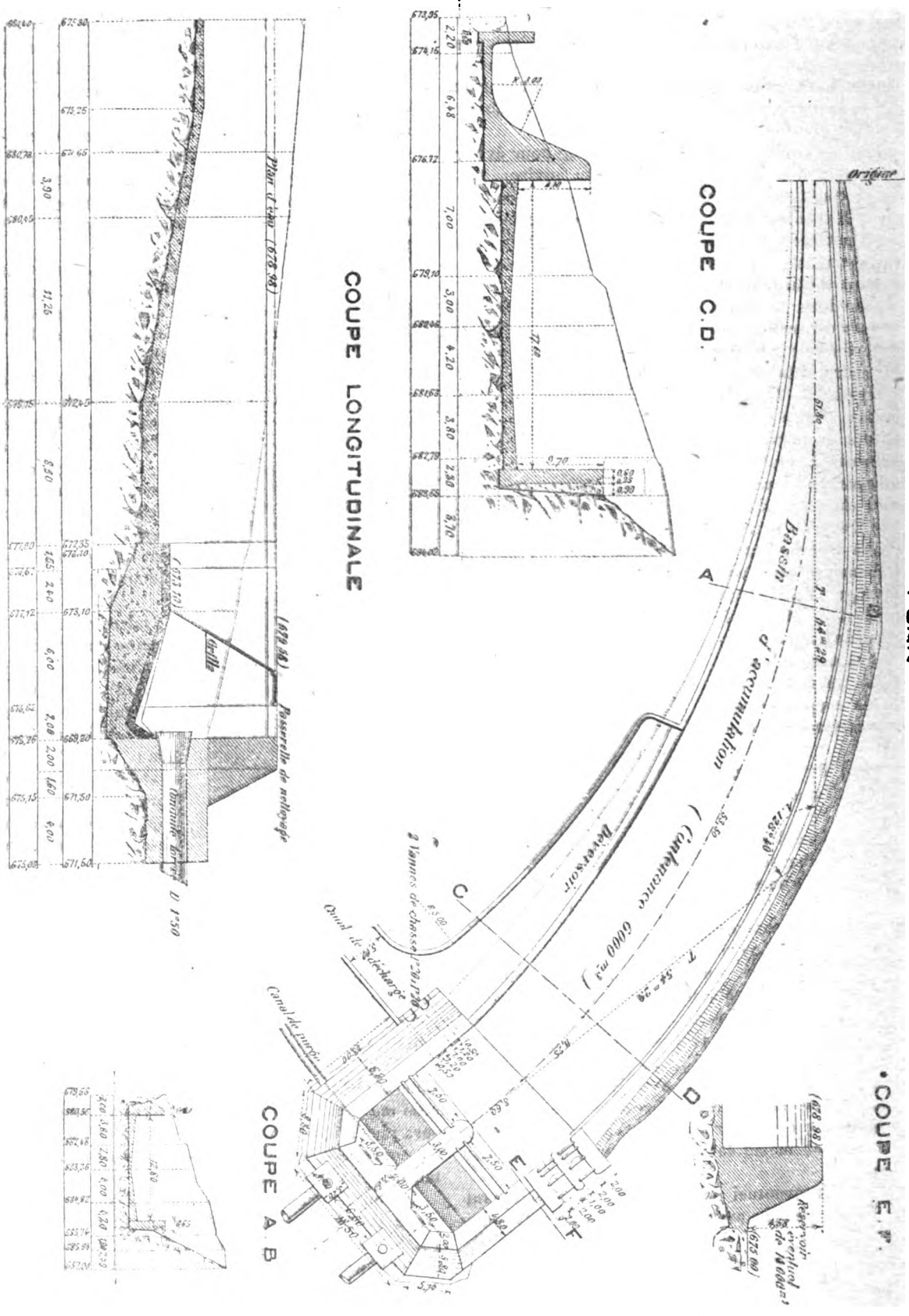


Fig. 11. — Bassin de mise en charge (coupes et plan).

Digitized by Google

Enfin un petit pavillon d'un étage mesurant 8,75 m × 7,75 m, couvert en terrasse et accolé par un angle au poste de transformation, est aménagé en atelier de réparations.

On accède à ces trois bâtiments par des portes vitrées. Un pont roulant de 10 tonnes dont le rail de roulement est à 6,50 m au-dessus du sol assure le service de l'usine.

Un chemin de 600 m environ de développement permet d'accéder à l'usine depuis le chemin de grande communication n° 24. Il traverse deux fois, par des ponts de 5 m d'ouverture, le canal de décharge du bassin de mise en charge. Trois pavillons destinés à l'habitation du personnel sont construits sur le bord de ce chemin d'accès.

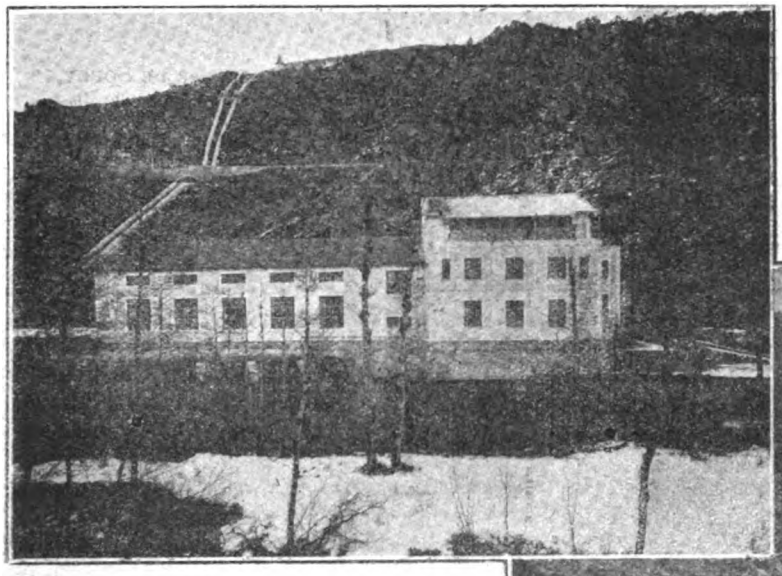


Fig. 12. — Vue extérieure de l'usine de l'Ance et des conduites forcées.

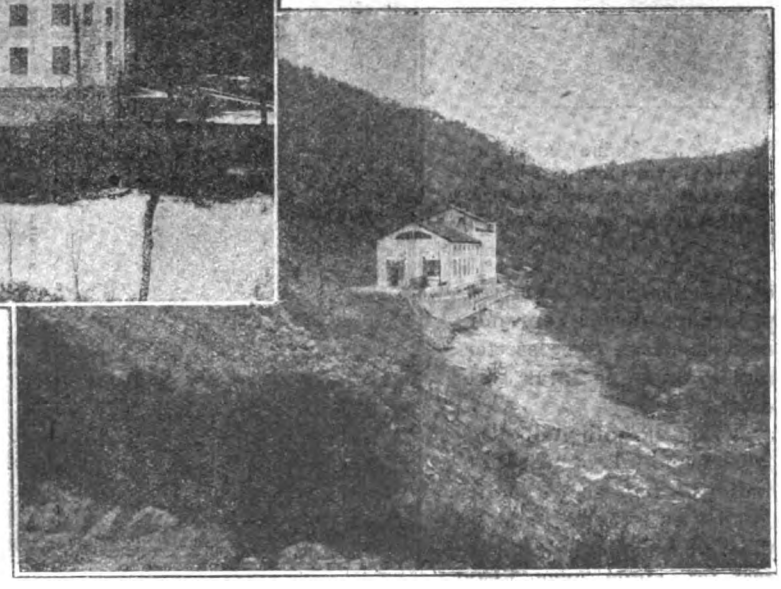


Fig. 13. — Usine de l'Ance. (Vue d'amont prise pendant les travaux.)

Renseignements relatifs à l'exécution des travaux. — 1° INSTALLATIONS DU CHANTIER ET TRAVAUX PRÉLIMINAIRES. — Les travaux furent commencés au début de 1913.

Les baraquements pour les ateliers, bureaux, forge et magasins à chaux ayant été construits à flanc de coteau, ainsi que les cantines, à l'amont de l'emplacement du barrage, on créa dans les dépôts d'alluvion au fond de la vallée une carrière provisoire de sable et au-dessus des carrières de granit ainsi qu'une autre carrière de sable.

Une coupe de bois fut organisée à l'aval ainsi qu'un chantier de scieurs de long. La dérivation provisoire fut percée sur la rive gauche pour permettre l'écoulement de la rivière pendant la construction du barrage.

Trois entrepôts principaux d'approvisionnement furent montés, l'un à Chaumont, commune de Boisset, pour les matériaux provenant de la gare d'Usson, les deux autres sur la commune de Tiranges pour les matériaux provenant de la gare de Retournac.

7 carrières de sable, 3 carrières de moellons et 3 poudrières furent installées le long du canal d'amenée et au voisinage de l'usine.

3 stations de force motrice alimentées par l'ancienne usine du Pont de Lignon furent aménagées le long du canal d'amenée pour actionner les compresseurs d'air Ingersoll Rand qui commandaient les perforatrices à air comprimé.

2 fenêtres furent percées pour augmenter le nombre des attaques des parties souterraines du canal d'amenée.

2° MARCHE DES TRAVAUX. — Les travaux devaient être achevés fin 1914, mais la mobilisation eût pour effet de réduire considérablement les effectifs des équipes qui passèrent de 1 200 à 200 hommes environ.

A la déclaration de guerre, il restait au barrage 2 000 m³ de maçonnerie à exécuter sur un total de 9 000 m³; au canal d'amenée, 200 m de souterrain restaient seulement à percer; le bassin de mise en charge était presque terminé et le montage des conduites forcées avait été commencé; le bâtiment de l'usine, poussé avec activité pendant l'hiver 1913-1914, était très avancé; il restait à monter les alternateurs et le poste de transformation.

Les travaux furent poursuivis avec des équipes réduites jusqu'au mois de juillet 1915 où, devant les demandes croissantes d'énergie, la Compagnie électrique

Digitized by Google

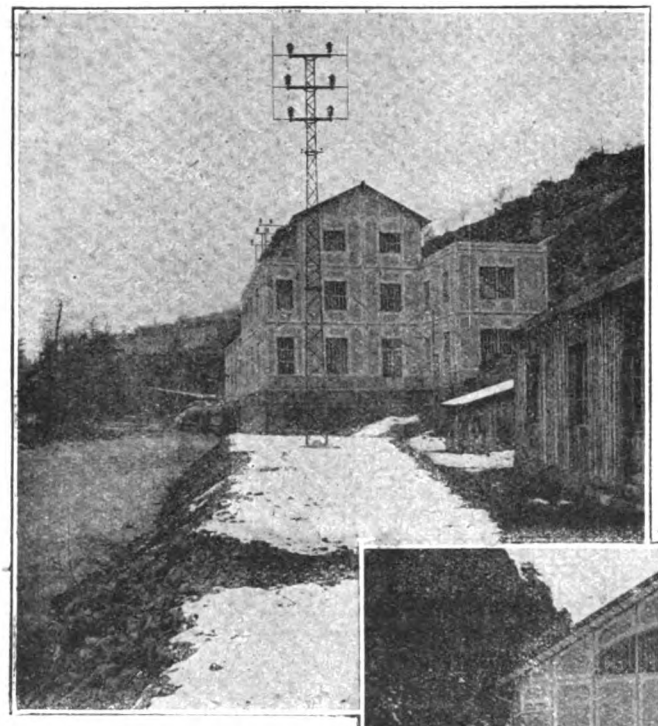


Fig. 14. — Usine de l'Auce. (Vue d'aval montrant le bâtiment de l'appareillage et de l'atelier de réparations.)

de la Loire et du Centre se préoccupa de les reprendre activement et de les terminer dans le plus bref délai.

L'Etat la sollicitait d'ailleurs au mois d'août 1915, d'étudier les moyens de mettre l'usine en service dans un délai de 8 à 9 mois. Un contrat fut signé avec l'Etat par lequel celui-ci avançait les sommes nécessaires à l'achèvement des travaux, assurait son concours pour les approvisionnements en chaux et en ciment et mettait à la disposition de la Compagnie des prisonniers de guerre au nombre de 325 environ.

Dès le mois de mars 1916, les travaux furent repris activement et, malgré les difficultés d'approvisionner les matières premières, le canal put être mis en eau le 22 octobre de la même année; enfin, le 8 janvier 1917, l'usine était mise en marche sur le réseau avec les trois groupes.

(A suivre.)

Jacques DE SOUCY,
Ingénieur-conseil.

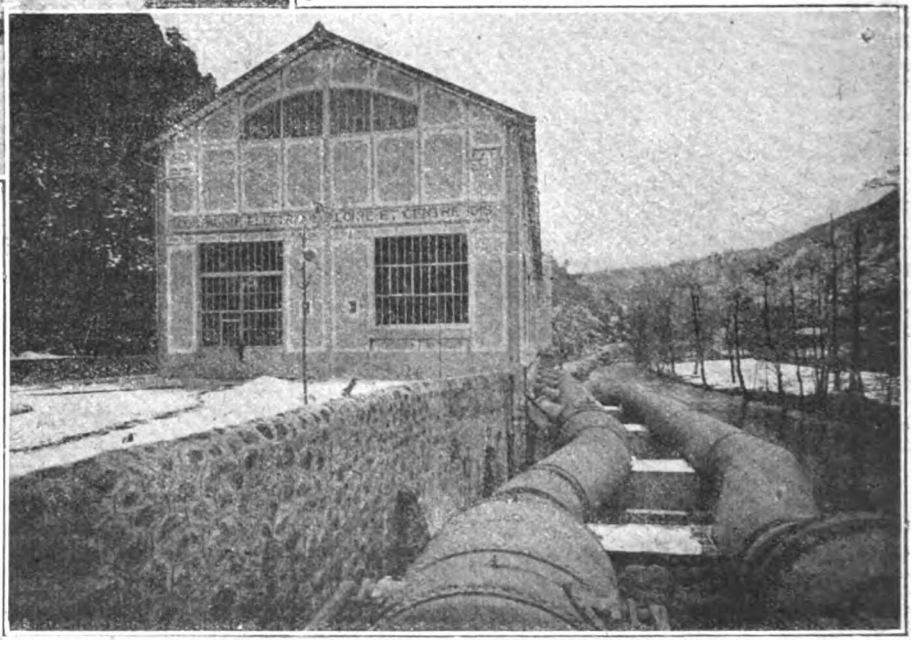


Fig. 15. — Collecteur et raccordement des conduites forcées.

Revues, analyses et informations

Téléphonie et télégraphie multiplex (1).

Le problème de la téléphonie et de la télégraphie multiplex a été résolu par les services techniques de l'American Telephone and Telegraph Co et la Western Electric Co, travaillant en étroite collaboration. La solution qui est adaptée à la pratique commerciale journalière permet l'emploi simultané d'une simple paire de fils pour plusieurs conversations téléphoniques ou plusieurs messages téléphoniques, ou même, si besoin est, pour les deux. Le service commercial sur lequel le système a été mis à l'épreuve assurait avec une paire de fils, cinq paires de conversations téléphoniques et deux circuits télégraphiques ordinaires.

Le champ des possibilités ainsi ouvertes à la télégraphie multiplex est étendu et, tant pour la télégraphie que pour la téléphonie, les limites pratiques ne sont pas actuellement celles qu'imposent les phénomènes physiques mis en jeu.

(1) Frank B. JEWETT. *Telegraph and Telephone Age*, 16 janvier 1919; résumé dans *Electrical Review*, 7 février 1919, t. LXXXIV, p. 165-166, 1 000 mots, 3 fig.

Digitized by Google

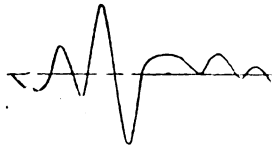
Il est actuellement possible d'actionner plusieurs circuits téléphoniques avec une seule paire de fils de ligne, que la ligne soit longue ou courte. Mais, comme les appareils nécessaires à la multiplication tant aux extrémités que sur le parcours de la ligne coûtent très cher et que l'extension des circuits multiplex au-delà d'une certaine limite entraînerait une dépense considérable, il n'est ni économique, ni pratique, d'employer le système multiplex sur les lignes très courtes ni de superposer autant de circuits qu'on pourrait le faire théoriquement.

Quand on parle devant un microphone, on engendre de faibles courants électriques qui sont représentés par des courbes très curieuses et très complexes et qui font intervenir un jeu très étendu de fréquences, pouvant dépasser 2 000 p : sec. On sait que, pour un microphone, une ligne et un récepteur convenables, le courant en chaque point du circuit reproduit fidèlement les perturbations que la voix détermine dans l'air.

Pour que le circuit fonctionne d'une manière satisfaisante, on sait aussi que le récepteur ne doit pas être le siège de courants ayant la même fréquence que la voix, à l'exception de ceux produits dans le transmetteur utilisé par la personne avec qui l'on parle.

S'il en est ainsi et si, comme on le sait, toutes les voix humaines utilisent sensiblement le même intervalle de fréquences, comment est-il possible d'utiliser une simple paire de fils pour la transmission de plusieurs messages simultanés et faire que chaque message n'atteigne que le récepteur auquel il est destiné? Comment tous ces messages ne se mêlent-ils pas d'une manière inextricable! Cette difficulté a fixé l'attention d'un grand nombre de techniciens pendant plusieurs années et fait naître un grand nombre de dispositifs ingénieux.

On sait qu'il y a des intervalles de fréquences aussi bien électriques que mécaniques, qui sont en dehors des limites de perception de nos cinq sens. Les courants de haute fréquence obéissent aux mêmes lois que les courants de faible fréquence, mais ces fréquences élevées manifestent une préférence particulière pour les circuits spécialement com-



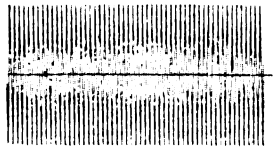


Fig. 1. Courbe schématique du courant produit par la voix dans un circuit téléphonique. — Fig. 2. Courant de haute fréquence.

binés en vue de les recevoir et chaque fréquence élevée particulière ou chaque intervalle de hautes fréquences, s'il peut choisir entre un certain nombre de circuits différents, choisira celui qui lui est le mieux adapté, de préférence aux autres.

C'est cette propriété sélective pour des courants de fréquence différente que l'on a utilisée pour combiner et séparer les divers messages destinés à se propager sur un trajet commun. Mais il faut, en quelque sorte, imprimer à chacun des courants de haute fréquence les caractéristiques de la fréquence particulière de la voix que l'on désire transmettre à l'extrémité de la ligne.

Le tube à vide amplificateur peut servir à séparer les fréquences élevées et les faibles fréquences qu'on lui fournit, à condition, naturellement, de l'associer à d'autres dispositifs dont les plus importants sont les circuits sélecteurs sans lesquels le tube à vide serait impuissant.

C'est là le principe de l'installation mise en service entre Washington et Pittsburg. En réalité, la section multiplex de la ligne s'étend du poste d'essai du Tuxedo, un peu à l'extérieur de la ville de Baltimore, au poste d'essai de Brushton, un peu à l'extérieur de Pittsburg. De Washington à Tuxedo et de Pittsburg à Brushton, on a disposé autant de circuits téléphoniques ordinaires qu'il en faut pour l'utilisation ordinaire et en multiplex de la ligne Tuxedo-Brushton, soit cinq, dans le cas indiqué. Aucun de ces cinq circuits ne diffère des circuits téléphoniques ordinaires au point de vue du fonctionnement ou de la manière dont on parle. A Tuxedo et à Brushton chaque terminaison téléphonique ordinaire est reliée à son organe propre d'appareil. Une des terminaisons, notamment celle destinée à utiliser la ligne de propagation à la manière ordinaire, va directement à celle-ci à travers un dispositif qui empêche les courants de haute fréquence qui entrent ou qui sortent de revenir à la borne. Chacune des autres terminaisons est reliée à un appareil qui, lors de la transmission, combine les courants de la voix avec un courant particulier de haute fréquence; celui-ci, après avoir été modifié par les modulations de la voix, va à la ligne de propagation par l'intermédiaire d'un appareil spécialement adapté à ce courant. A l'extrémité éloignée de la ligne, le courant traverse son propre appareil

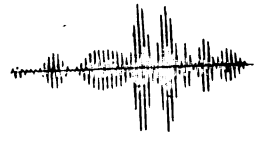


Fig. 3. — Courant de haute fréquence modifié par la voix humaine.

sélecteur et va directement au poste combiné pour un fonctionnement habituel, chacun des quatre autres courants de transmission choisissant le circuit qui lui est destiné.

En même temps, les courants télégraphiques peuvent aller et venir sur les fils du circuit sans interférer avec les divers courants de transmission ou les courants téléphoniques.

Ainsi, à tout instant, les deux fils de la ligne Tuxedo-Bruhston ont été parcourus par un ensemble hétérogène de courants de haute fréquence, de courants modifiés à la fréquence de la voix humaine, de courants téléphoniques et des courants de commande qui peuvent être nécessaires au fonctionnement convenable des appareils situés aux extrémités. Une image électrique des phénomènes qui se produisent dans la ligne serait inintelligible pour aucun de nos sens. — A. B.

La grenaille de charbon pour microphones.

Les « Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones » de décembre 1918 donnent, pages 648-650, l'analyse qui suit d'un article concernant la fabrication de la grenaille de charbon pour microphone paru dans « Telephony » de septembre 1918.

Dans les microphones à charbon divisé, les grains employés doivent être de dimensions uniformes. On désigne ces dimensions par des numéros conventionnels. Par exemple, la grenaille n° 100 est celle qui passe à travers un tamis ayant 80 mailles au pouce et qui est retenue sur un

Digitized by Google

tamis ayant 100 mailles au pouce. On emploie souvent les nos 40 à 60 dans les microphones à batterie locale et les nos 80 à 120 dans les microphones à batterie centrale.

Pour savoir quel numéro de grenaille convient le mieux à une forme de microphone donnée, une règle approximative est que la distance des deux électrodes du microphone doit être égale à la longueur occupée par trois grains juxtaposés. Les microphones dont les électrodes sont moins écartées sont généralement sujets à de la friture. Quand on se propose de créer un nouveau type de microphone à grenaille, il est bon de choisir d'abord le numéro de grenaille que l'on emploiera et de faire des recherches expérimentales seulement pour déterminer la forme du microphone.

Fabrication de la grenaille de charbon. — On choisit du charbon dur bien débarrassé de schistes et d'autres impuretés et on le réduit en grains que l'on met ensuite dans un creuset de plombagine rempli aux trois quarts. On finit de remplir le creuset avec des morceaux de charbon de bois de la grosseur d'une noisette et on le couvre.

Le creuset est introduit dans un four à 400° dont la température est progressivement élevée jusqu'au rouge blanc, ou bien jusqu'à une température moindre, selon le résultat que l'on se propose. La température maximum est maintenue de sept à dix heures. Plus cette température est élevée, moins la grenaille de charbon aura de résistance électrique et plus elle sera homogène. Le poids spécifique de la grenaille dépendra de la durée de la cuisson et l'on sait qu'il y a avantage à avoir des grenailles légères.

Le creuset doit se refroidir lentement. On verse ensuite la grenaille dans un récipient en verre ou en émail (pas de fer) et on la transvase jusqu'à ce que la poussière ait disparu. On la lave à l'eau pure en l'agitant avec du bois ou du verre jusqu'à ce que l'eau reste claire; on la sèche en l'étalant sur des plaques d'ardoise ou de verre chauffées par des procédés électriques afin de ne pas risquer de brûler la grenaille.

Après avoir de nouveau vanné la grenaille pour la dépoussiérer, on peut la tamiser ou la cuire une seconde fois, ainsi qu'il vient d'être expliqué. On est d'avis que cette seconde cuisson est avantageuse.

Après toutes ces opérations, on fait passer les grains dans un trieur magnétique pour éliminer tous ceux qui pourraient contenir même une trace de fer. Le trieur est un cylindre d'acier poli tournant dans un champ magnétique assez fort. On peut prendre une magnéto dont l'induit est remplacé par le cylindre d'acier, une trémie laisse tomber la grenaille, par quelques grains à la fois, au sommet du cylindre; une ratissoire est disposée au bas du cylindre, au delà de la ligne axiale dans le sens du mouvement. Les bonnes granules tombent, les mauvaises restent collées au cylindre jusqu'au moment où la ratissoire les arrache.

La grenaille est ensuite agitée pendant un quart d'heure par paquets d'une demi-livre et puis encore tamisée. Elle est enfin mise dans des flacons de verre bouchés à l'émeri, lesquels flacons sont étiquetés en mentionnant le numéro de tamisage, le poids spécifique, le nombre et la durée des cuissons subies, etc... On ne doit jamais laisser ces flacons débouchés ni toucher la grenaille avec les mains, ni travailler avec la grenaille près d'une fenêtre ouverte, ou dans un endroit poussiéreux ou humide. Chaque fois que l'on prend de la grenaille dans le flacon, on la lave à l'alcool et on la sèche à une chaleur douce en agitant.

C'est en préparant la grenaille de cette façon que l'on obtient un produit léger, mobile, n'ayant pas de tendance aux tassements, ni à la friture pour l'intensité de courant normale. Toutes ces qualités devraient se conserver indéfiniment. Cependant, dans beaucoup de microphones, on a besoin de changer la grenaille après trois à cinq ans d'usage.

On peut supposer qu'avec les microphones les plus récents, à résistance plus élevée et courant normal moins intense, la durée d'usage sera plus grande.

Notes pratiques

Comment on travaille l'aluminium.

Nous continuons les indications sur le travail de l'aluminium déjà données dans les numéros des 5 et 19 avril 1919.

Soudure de l'aluminium. — La réunion de deux pièces d'aluminium peut se faire : 1° par soudure autogène; 2° par brasure.

Chauffé ou fondu à l'air libre, l'aluminium se recouvre d'une mince pellicule d'oxyde irréductible qui rend difficile la réunion de deux pièces, cette couche d'alumine venant s'interposer entre les surfaces à souder.

Il est donc nécessaire, pour obtenir une bonne soudure, d'éliminer cette couche d'alumine. On y arrive en employant les précautions suivantes : 1° Avant toute opération de soudure, il importe de décaper soigneusement les parties à souder, en les frottant avec de la toile émeri fine, légèrement enduite de vaseline; 2° on emploie un fondant susceptible de former avec l'alumine un sel facilement fusible; 3° *toutes les soudures doivent être lavées et brossées très soigneusement dessus et dessous, à l'eau chaude de préférence, pour enlever toute trace de fondant.*

L'Union de la Soudure autogène a adopté le mélange suivant :

Chlorure de lithium	15 pour 100
Chlorure de potassium	45
Chlorure de sodium	30
Fluorure de potassium	7
Bisulfate de soude	3

On trouve dans le commerce des fondants tout préparés.

a) La soudure autogène doit être employée toutes les fois qu'il y aura possibilité.

b) En employant les brasures, on fait intervenir des métaux étrangers (étain, bismuth, cadmium, etc.), qui ont tous plus ou moins l'inconvénient, en présence d'humidité, de donner avec l'aluminium naissance à des couples électriques qui, tôt ou tard, finissent par désagréger la soudure.

On ne doit donc employer les brasures que dans des cas tout à fait exceptionnels, où l'on est certain qu'ultérieurement l'objet ainsi fabriqué ne sera pas mis en contact avec de l'eau ou de l'humidité.

On trouve dans le commerce différentes brasures qui, sous les réserves indiquées, donnent d'assez bons résultats.

L'étain pur peut être également employé.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

De quelques matières premières nécessaires à l'industrie électrique [1]

Le mica

L'auteur passe en revue les principales sortes de mica, signale la localisation des gisements mondiaux les plus importants, indique le pouvoir diélectrique des principales provenances, donne un aperçu des méthodes d'extraction et de préparation du minerai, des principaux marchés et cours, des divers emplois du mica dans l'industrie et tire des renseignements ci-dessus les conclusions qu'ils comportent. Des notes bibliographiques terminent plusieurs des chapitres de la présente étude.

Classification des diverses sortes de micas. — Divers silico-aluminates de potasse, de fer et de magnésie se présentant sous la forme de lamelles brillantes très minces et flexibles ont reçu l'appellation de « mica », tirée du latin « mica » (parcelle) ou « micare » (reluire). — Le mica, qui dégage parfois du fluor, forme partie constituante de plusieurs roches ignées (pegmatites ou granit à mica blanc, et micaschistes ou composé de mica et de quartz) et sédimentaires et prend différents noms, suivant sa composition. De là, différentes classifications de ce minéral : celles de Plinius, de Landmann, de Gesner, de Bombast, de Boëtius de Boot, puis celle faite en 1747 par le chimiste suédois Jean Gottschalk Wallerius, supérieure aux précédentes.

Ce savant distinguait dans le mica les variétés suivantes : alba, flava, rubia, viridis, nigris, squamosa, radians, fluctuans, hemospherica.

Plus tard, Abraham Gottlob von Werner, le père de la minéralogie allemande, qui a donné au mica le nom allemand de « Glimmer », contribua à apporter plus de méthode à la pratique de cette science.

Le grand savant français A. Lacroix, dans sa « Minéralogie », distingue deux groupes de micas : le magnésien et celui peu ou point magnésien. Il divise le groupe magnésien en deux parties, celle des micas peu ou point ferrifères, dans laquelle il fait entrer la phlogopite, et celle des micas riches en fer, subdivisés en micas potassiques, tels que la biotite, et en micas potassiques et lithiques, qui comprennent la zinnwaldite. Il range dans le groupe non magnésien les trois catégories suivantes : parmi les lithiques, la lépidolite, parmi les potassiques, la muscovite, et parmi les sodiques : la paragonite.

Le savant Tschermack divise les micas en quatre groupes : biotite, phlogopite, muscovite et margarite.

Il existe une classification, américaine, du mica comprenant le groupe mica proprement dit, le groupe clintonite et le groupe chlorite.

Le minéralogiste allemand Naumann-Zirkel distingue 10 sortes de mica.

Un autre minéralogiste allemand, Hintze, le divise en 4 catégories :

1° mica ferrugineux magnésien : biotite (méroxène, anomite, lépidomélane, phlogopite) ;

2° mica ferrugineux lithiné : zinnwaldite (mica noir corbeau, kryophyllat, polythionite) ;

3° mica alcalin : *a*) lépidolite : mica à lithine ; *b*) muscovite : mica à kali (potassique) ; *c*) paragonite : mica à natron (sodique) ;

4° mica calcaire : margarite.

Quelles que soient les classifications scientifiques adoptées, passons brièvement en revue les diverses sortes de micas indiquées plus haut :

La *phlogopite* ou mica magnésien, ou mica ambré argenté, est de couleur assez claire, allant du brunâtre au jaune ; elle est exempte de fer et ses feuillets sont généralement bigarrés. Ce mica est riche en alcalis. On le trouve surtout dans les calcaires cristallins, ou bien dans les dolomies, ou encore dans les roches à serpentine. La phlogopite est plus flexible que la *biotite* ou mica ferro-magnésien. Cette sorte ne paraît pas convenir aux usages du commerce, en raison de sa teneur en fer et de sa couleur foncée noire. Dans cette catégorie, les espèces les plus lourdes ne contiennent presque pas de soude ni de lithine. Ce sont, entre autres : l'*anomite* et le *méroxène*, tous deux espèces assez rares de mica vert, et le *lépidomélane* ou mica ferrugineux. Sa teneur est forte en fer et faible en magnésie. Il se présente en petites plaques dans les roches plutoniques (granit et gneiss).

La *zinnwaldite* ou lithuanite, de couleur brune, grise, noire, verdâtre, violet pâle ou jaune. Ce mica est très voisin de forme et d'aspect de la biotite ; il présente la macle des micas et les clivages indiqués pour la biotite. Il emprunte souvent la forme de rosettes. Sa dureté est de 2,5 à 3 et sa densité de 2,82 à 3,20. Il fond plus facilement encore que la lépidolite. On le trouve surtout dans les granits stannifères. La zinnwaldite est lithini-

(1) Voir *Revue Générale de l'Electricité*, 20 et 27 juillet 1918, t. IV, p. 87 et 121.

Digitized by Google

fère et fluorifère. (Consulter pour ce mica le mémoire publié par MM. Duparc, Wunder et Sabot dans le *Bulletin de la Société de Physique* de Genève, page 369 du tome XXXVI, 1910).

La *lépidolite* ou mica à lithine, est assez rare. Elle se présente en lamelles hexagonales ou losangiques de couleur rose, rouge, violacée, lilas, jaune, grise ou incolore. Son éclat est nacré, ses lames de clivage sont transparentes. Le manganèse y est incorporé. Tschermak l'a étudiée à la page 514 de son ouvrage : Lehrbuch der Mineralogie, Wien, 1894.

La *muscovite* ou verre de Muscovie, est un mica riche en potasse, alumine et eau. C'est le mica le plus commun du commerce. Il est en général pâle, un peu plus clair ou incolore et a un lustre nacré sur la surface de clivage. C'est un des trois éléments des granits. Pour les formes observées et les facies des cristaux, voir p. 335 de la Minéralogie de Lacroix. D'après ce savant, les clivages en sont parfaits et lamelleux. Quand les plans de séparation sont très faciles, il est possible de détacher des lames de muscovite des lamelles filiformes. Les lames du clivage micacé sont flexibles et élastiques. Sa dureté varie de 2 à 2,5. La muscovite est souvent âpre au toucher, et un peu cassante.

La *paragonite* est un mica sodique, généralement de couleur blanc jaunâtre et d'éclat soyeux ; elle contient parfois de beaux prismes bleus de cyanite et de disthène, associés à de la staurolite brun rougeâtre. Elle ne se trouve qu'en fines écailles, à contours irréguliers, dont la nature cristalline n'est souvent appréciable qu'au microscope.

Le genre *clintonite* est un mica cassant.

Le *mica triangulaire de Haüy*, ou *pennine*, est un composé de silicate hydraté naturel d'alumine et de magnésie. Il appartient au genre *chlorite*. Il a un éclat vitreux et est de couleur vert foncé. On le trouve dans certains schistes cristallins.

Le genre *margarite* renferme les micas calcaires, qui sont des silicates hydratés d'alumine et de chaux. L'espèce margarite est blanche ou grisâtre, avec éclat de perle (margarita en latin) ; parmi ses variétés, on peut citer : la *corundellite*, l'*émerylite* et la *gilbertite*.

La *damourite* est onctueuse au toucher. Ses lames de clivage sont flexibles. C'est un silicate hydraté d'alumine et de potasse qui se présente en agrégations d'écailles très fines blanc jaunâtre, d'un éclat nacré. Elle prend son nom du grand minéralogiste français Damour (Augustin Alexis).

La *séricite* est onctueuse au toucher. Sa couleur est rosée ; elle est transparente ou translucide ; son éclat est vitreux, nacré sur les lames de clivage. Elle entre en grande proportion dans la composition des schistes à séricite, à l'aspect soyeux et ridé.

La *fuchsite* ou *mica chromé*, est blanche, grise, jaune ou verte.

Tous les genres de mica ci-dessus mentionnés peuvent être rayés à l'ongle. Leurs feuilles, exposées à l'air sur la surface des gisements, sont plus friables que celles obtenues d'entre les cristaux solides. La densité de tous les micas varie entre 2 et 3,2. Le point essentiel pour l'industrie est que les feuilles puissent être divisées en lamelles minces. Les variétés de nuances ni trop claires ni trop foncées se fendent plus facilement (1).

Localisation des principaux gisements de mica du globe. — En Europe. — ALLEMAGNE. — Ce pays en produit en petites quantités. Les principaux gisements se trouvent en Saxe : à Penig (lépidolite et zinnwaldite), à Harzburg, à Freiberg, à Altkemnitz, près d'Hirschberg (phlogopite), et à Persberg, dans le

(1) Pour plus de détails géologiques, minéralogiques et chimiques sur le mica, on peut consulter les ouvrages suivants :

PLINIUS (Caius Secundus). Historia naturalis, t. III, IX, XIX, XXI, XXXVI, XXXVII, Epistolae II.

LANDMANN (Georg), dit G. AGRICOLA. De natura fossilium. Bermannus, sive de re metallica. Rerum metallicarum interpretatio, 1546. Ce savant cite parmi les micas : le lapis specularis, le diaphanes (en grec), le magnétis, l'ammochrysos, le katzengold (or de chat), le katzensilber (argent de chat), le frauenеis ou pierre à Jésus.

GESNER (Konrad von) naturaliste suisse. De omni rerum fossilium generi-Tiguri. 1565

BOMBAST VON HOHENHEIM (Philippus Aureolus Theophrastus), dit PARACELSUS. Opera, Strasbourg. 1616.

BOËTIUS DE BOOT. Gemmarum et lapidum historia, Amsterdam, 1647.

BECKMANN (prof. Joh.). Vorbereitung zur Warenkunde oder zur Kenntniss der vornehmsten ausländischen Waren. Première partie du t. II, Göttingen, 1796.

DAMOUR (Augustin-Alexis). Divers ouvrages de minéralogie de ce grand savant français, né en 1808.

DES CLOIZEAUX (prof. Alfred L.-O.). Manuel de minéralogie, Paris, 1862.

BAUER (M.). P. 137 du *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, Berlin, 1874.

LEUNIS-SENFT. Synopsis : mineralogie, 1875.

TSCHERMAK. P. 14 du *Zeitschrift fur Krytsallographie und Mineralogie*, t. II, Wien, 1878 et p. 122, t. III, Wien, 1879.

DANA (prof. James Dwight). Text book of mineralogy (aux p. 289-290 description technique et analytique du groupe des micas), 3e édition, New-York, 1880.

NAUMANN-ZIRKELL. Elemente der Mineralogie, t. II, 1885.

CLARKE (F.-W.). A theory of the mica group, p. 384 de l'*American Journal of Science*, t. XXXVIII. New-York, 1889.

RAMELSBERG (C-F.). Uber die chemische Natur der Micas, in-4°. Berlin, 1890.

LASPEYRES, K. BUSZ UND W. BRUHNS (von H.). Die Grundform der Glimmer uud das Klinoklor, 2e partie, des Mittheilungen aus dem mineralogischen Museum der Universität Bonn, 1890.

LIEBISCH. Physikalische Krystallographie, Leipzig, 1891.

CLARKE (F.-W.) et SCHNEIDER. Experiments upon the constitution of certain micas and chlorites, t. XLIII de l'*American Journal of Science*, New-York, 1892.

LACROIX (A). Minéralogie de la France et de ses colonies, t. IV, (ouvrage classique français), Paris, 1893, 1902.

HINTZE. Handbuch der Mineralogie, t. II. Silikate und Titanate, 1897

CIRKEL. Mica, its occurrence, exploitation and uses, Ottawa, 1905.

COLLES. Mica and the mica industry, Philadelphia, 1906.

Jahresberichte uber die deutschen Schutzgebiete, Berlin, 1904-1910.

ZEITLER (Hans). Der Glimmer : eine monographische Studie, 92 pages avec photogravures et tableaux, éditeurs : Jaroslaw's Erste Glimmenwarenfabrik in Berlin, Berlin, 1913.

Digitized by Google

Wermland (lépidomélane). Agricola citait en 1546 les gisements d'Hildesheim et de Nordhausen et le naturaliste K. von Gesner ceux de mica fraueneis de Halle, vers 1565. Les gisements bavarois d'Aschaffenburg et des Fichtelgebirge ont été aussi étudiés.

Angleterre. — Les gisements de toute la Grande-Bretagne n'avaient, en 1897, donné qu'un rendement d'une valeur de 43 000 fr. La production n'a guère été beaucoup plus importante depuis lors. On trouve néanmoins des gisements en Cornwall : Saint-Michael's Mount (lépidolite) ; en Ecosse, à Sutherland (lépidomélane) ; en Irlande : dans les comtés de Leinster et Donegal (lépidomélane).

Autriche-Hongrie. — Les principales régions micafères sont les suivantes : en Bohême : à Zinnwald (Erzgebirge) (zinnwaldite ou lithuamite, lépidolite) ; les exploitations ont surtout pour but la recherche de la lithine ; en Moravie : à Rozena (lépidolite) ; en Hongrie supérieure (phlogopite brune, de chaux) ; au Tyrol : à Altenberg (mica noir-corbeau ou rabenglimmer) ; dans le Zillertal : Greiner, Passeyr, Dorfner Alp von Schwarzenstein (paragonite, biotite, aspidolite de couleur verte, se rapprochant de la phlogopite de soude, fuchsite, margarodite ou talc durci, extrait des schistes chloriteux).

Espagne. — Plinius (Caius Secundus) parle dans son Historia Naturalis de gisements d'excellent mica blanc, et de mica noir situés près de Segobriga, sans doute l'actuelle Priego, de la Sierra de Cuenca, province de Nueva Castilla. Nous avons connaissance des mines de mica dénommées « Conchita », « Carlota » et « Tomasa », exploitées actuellement dans la province et ville de Teruel (Aragon).

France. — Les renseignements suivants démontrent que notre pays n'est pas dépourvu de cette intéressante matière première ; mais, à notre connaissance du moins, les micas trouvés jusqu'ici sont de trop petites dimensions, et il n'y existe pas d'exploitation à grande échelle, soit qu'on n'ait pas jusqu'ici découvert de gisements importants, soit que les industriels français utilisant le mica, habitués à faire leurs achats sur le marché de Londres de micas indiens et américains, n'aient pas encore pris l'initiative de rechercher en territoire français des dépôts à grand rendement, ou n'aient pas su utiliser les feuilles micafères de petites dimensions.

On peut résumer ainsi d'après la « Minéralogie » de A. Lacroix (p. 318-324) et d'autres auteurs, les principaux gisements de mica de France :

La *muscovite* se trouve : 1° dans les roches éruptives, comme élément normal, des départements de : l'Orne, de la Manche, des Côtes-du-Nord, du Finistère, des Basses et Hautes-Pyrénées, de la Haute-Garonne, de l'Ariège, de l'Aude, des Pyrénées-Orientales, du Tarn, de l'Aveyron, de la Lozère, de la Haute-Loire, du Cantal, de la Haute-Vienne, de la Creuse, du Puy-de-Dôme, de la Loire, du Rhône, de la Saône-et-Loire, de la Côte-d'Or, des Vosges, de l'Alsace (près d'Urbeis), du massif du Mont-Blanc, des Alpes Maritimes et de Corse ; 2° dans les schistes cristallins et les schistes granulitisés du Morbihan et de la Loire-Inférieure ; 3° dans les filons quartzeux de l'Ariège ; 4° dans les roches sédimentaires et dans les roches éruptives, transformées par métamorphisme général ou dynamique, des Ardennes, de Bretagne, des Pyrénées, du Plateau Central et de Corse ; 5° dans les roches sédimentaires, comme élément détritique, des environs de Paris, tels que Fontainebleau, Feucherolles et Saint-Martin-du-Tertre ;

La *phlogopite :* dans les dépôts calcaires des Vosges ;

La *biotite :* dans les gisements du Mont-Dore ;

La *lépidolite :* dans les départements de la Creuse, de la Haute-Vienne, de l'Allier et du Tarn ;

La *paragonite :* dans la Mayenne, dans les Alpes et au Mont-Cenis ;

La *damourite :* de Pontivy, où elle accompagne les cristaux de disthène blanc et bleu qu'on trouve dans les schistes anciens de cette région (densité : 2,792), de Montebras (2,803), de la Chèze (2,836) ;

La *hallerite :* sorte de lépidolite, qui tire son nom du savant qui, en 1908, la découvrit près de Mesores ;

L'*anomite :* du Grand-Riveau (2,902) et de Ramburlet (2,940) ;

Le *mica triangulaire de Haüy ou pennine :* rencontré dans certains schistes cristallins des Alpes.

Italie. — On trouve au Monte Somma (Vesuvio) de la biotite et du mica vert ou méroxène. Plinius (Caius Secundus) citait les gisements de mica de Sicile et ceux situés près de Bologna. — Des Cloizeaux, Niemeyer et Kjerulf ont étudié spécialement la biotite du Vesuvio.

Norvège. — D'après le « Colliery Guardian » (t. LXXVIII, pp. 32 et suivantes), et « Mineral Industry » (p. 428, 1899), on a essayé d'extraire de la muscovite en ce pays ; mais les essais ont été peu favorables, et, en 1910, les exploitations avaient cessé. La seule mine, celle de Godfjeld, près de Skutterud, à la côte sud-est, au nord-ouest de Kragerö, où l'extraction ait été sérieusement tentée, produit des cristaux de mica, petits en général, quoiqu'on en ait parfois trouvé qui atteignaient la dimension de 12" × 24". Berwerth a étudié la biotite de Langesundfjord (1).

Russie. — C'est à ce pays, jadis appelé Moscovie ou Muscovie, qu'est dû le nom de la muscovite, qui y a été extraite pour la première fois. Dans la région des monts Oural (districts de Nischne (Nijne Tagilski) et d'Ixetsy) à Krutoi Klutsch, à Iékaterinburg et à Alabaschka on trouve de grands spécimens de lépidolite et paragonite. De même à l'île Solovetski, dans la mer Blanche, au nord-ouest d'Arkhangelsk. — Quant à la Finlande, on

(1) Comme bibliographie sur ce pays, on peut consulter : Wells (J.-F.) Notes on the occurrence of mica in South Norway (*Transactions of Mining and Metall. Institute*, t. VII, p. 334, New-York, 1899).

Digitized by Google

trouve des cristaux fins de muscovite, de la phlogopite et de la biotite à Pargas et à Kivnite. La lépidomélane se trouve surtout à Rapakiwi et à Abborforss. De 1891 à 1898, on exportait du mica finlandais en petites quantités dans les provinces Baltiques où se trouvait son marché principal de vente.

Suède. — On rencontre des cristaux fins de muscovite : à Finbo et à Falun (nord-ouest de Stockholm), à Utö et à Ytterby ; de la lépidomélane ; à Persberg (Wermland), et de la lépidolite près d'Utö.

Suisse. — Il y a des gisements de paragonite dans le canton du Tessin, près de Faïdo, à Monte Campione. Quant au massif du Saint-Gothard, on y trouve sur le mont lui-même : de la paragonite ; à Binnenthal : des cristaux fins de muscovite et à Campalonge : de la phlogopite. Le minéralogiste français Henri Hureau de Sénarmont (mort en 1862) a étudié les gisements de muscovite de ces régions.

Asie. — Birmanie. — Ce pays produit du mica, qui est exporté de Calcutta pour l'Europe.

Ceylan. — On y a constaté la présence du mica. Il paraîtrait que le mica dit de Ceylan, à raison de son embarquement à Colombo, provient plutôt du continent indien, pour la plupart des lots.

Chine. — Avant la guerre actuelle, les Allemands avaient découvert à 80 km de la baie de Kiao-tchao de nombreux gisements de mica blanc. Mais il n'en était fait alors qu'une exploitation réduite limitée aux besoins locaux de décoration et ouvrages de peinture. On a signalé aussi des gisements à Tschong-tschong, dans le Chantoun : mais la difficulté des transports a mis jusqu'ici obstacle à l'exportation de ce mica.

Chypre. — Plinius (Caius Secundus) a cité dans son « Historia Naturalis » les gisements de mica de cette île.

Cochinchine. — On y trouve de la muscovite dans les roches éruptives.

Inde anglaise (East India). — L'extraction du mica dans l'Inde remonte aux temps les plus reculés : les mines de Patna et de Delhi étaient alors renommées. Mais ce n'est qu'en 1863 qu'eut lieu la première exportation : sa valeur s'élevait à l'équivalent de 188 000 fr. En 1884, il y eut un véritable engouement pour le mica de l'Inde : trois régions principales de l'Inde produisent le mica : les présidences du Bengale, de Madras et de Bombay.

Le gouvernement du *Bengale* comptait en 1902, 250 mines en exploitation dont l'extraction moyenne était de 450 t de mica vendable. Les mines principales, entre autres celle de Lakamandwa (qui extrait de petites quantités d'apatite, sous-produit intéressant), se trouvent dans le district et village de Kodarma ou Koderma (province de Nagpore), à 160 milles de Calcutta) et dans le district de Hazaribagh (province de Behar). Le mica s'y trouve dans un filon ou « dyke » de pegmatite qui traverse les schistes. La mine de Dugi-Phutlai est exploitée sur environ 1 000 m et une profondeur de 10 m. Deux des plus riches mines, celle de Luguuwa et celle de Torna (près de Kodarma) exploitent un même filon à ciel ouvert. Dans la plupart des cas, les gisements se présentent jusqu'à une profondeur maximum de 30 à 40 m. La puissance du dyke varie de 1 m à 1,50 m. La mine de Dormacola, près de Bishampur ou Bishnapur exploite un filon d'une puissance de 2 m à 4 m. Il y a aussi des gisements dans les districts de Gaya et Monghyr, à Manbhum et à Singehum (Chota Nagpur) et à Sikkim (Tibet). La moyenne annuelle, pour les années de 1904 à 1908, du rendement du mica dans cette présidence du Bengale a été de 23.624 cwts. (quintal anglais), soit 57 pour 100 de la production totale de l'Inde.

Pour la présidence de *Madras*, on signale les gisements les plus importants dans le district de Nellore. La mine d'Inikuuti y a été exploitée jusqu'à 25 m de profondeur. A citer aussi la mine de Turpunpandla.

Ce district de Nellore comptait, en 1902, environ 40 exploitations de mica en activité et produisait 1881 t environ. Les plus grands cristaux qu'on ait trouvés dans l'Inde proviennent des dykes de ce district. On a, d'après M. H. de Schmid, extrait de la mine Juikurte des feuilles mesurant 10 pieds par le travers et les feuilles mesurant 30" sur 24" se rencontrent fréquemment.

Quoique le district de Nilgris ou Nilgiri Hills (de la partie méridionale de cette présidence) n'ait produit en 1905 que 60 quintaux, depuis lors cette région micafère est devenue importante et à Crerambadi on a extrait de grandes feuilles de première qualité ; on trouve aussi du mica dans les districts de Ganjam de Salem, de Vizagapatam de Travancore et de Trichinopoli.

Le rendement annuel moyen de Madras pour les années de 1904 à 1908 avait été de 12 931 hundredweights ou quintaux anglais, formant le 31 pour 100 de la production totale de l'Inde.

La présidence de *Bombay* et l'Etat indigène de *Rajputana* qui en dépend (gisements d'Ajmere, Merwara, Narukot, Chota, Oodeypur, Jaipur Kishengarh, Sirohi et Tonk) extrayaient en moyenne annuelle, pendant les années 1904 et 1908, 4 664 quintaux anglais formant 11 pour 100 de la production totale de l'Inde.

A citer aussi les gisements micafères de l'Inde centrale (Rewah), des provinces centrales (Balaghat, Bastar, Bilaspur Coorg), de Mysore, du Punjab (Bhabeh, Gurgam, Kangra).

L'extraction annuelle moyenne des trois présidences précédentes, dans la période 1904 à 1908, était de 41 219 quintaux anglais.

En 1910, l'Inde a produit, d'après les statistiques officielles, 32 699 quintaux, d'une valeur de 54 427 £. Or, d'après des techniciens du mica, il est avéré qu'en réalité, il a été cette année là exporté une quantité supé-

Digitized by Google

rieure, soit 39612 quintaux, d'une valeur de 177152 £ (4 605000 fr). Ces derniers chiffres représentent la production moyenne annuelle de l'Inde.

La valeur moyenne de la production indienne, pour la période commençant en 1894 et finissant en 1903 inclusivement a été d'environ 74300 £, avec un rendement minimum de 42516 £ en 1894 et maximum de 109554 £ en 1900.

TABLEAU I. — *Production et exportation de mica de l'Inde anglaise de 1904 à 1908 inclusivement.*

ANNÉES	EXTRACTION poids en cwts quintaux anglais	DÉTAIL D'EXPORTATION	poids en cwts	valeur en livres sterlings	EXPORTATION TOTALE poids en cwts	valeur en livres sterlings
1903-1904	22 164	Calcutta	18 001	67 802	21 548	86 297
		Madras	3 330	18 121		
		Bombay	217	374		
1904-1905	25 641	Calcutta	13 167	59 187	19 575	97 932
		Madras	6 334	38 613		
		Bombay	74	132		
1905-1906	52 543	Calcutta	21 568	107 904	31 554	159 627
		Madras	9 788	50 502		
		Bombay	198	1 221		
1906-1907	52 203	Calcutta	35 496	191 812	51 426	254 990
		Madras	15 296	60 802		
		Bombay	634	2 384		
1907-1908	53 543	Calcutta	25 374	169 810	28 922	228 148 (1)
		Madras	12 833	55 476		
		Bombay	710	2 862		
1908-1909						126 834
1909-1910						38 157
1910-1911						54 427
			Détail pour la France seule.		*Exportation pour tous pays.*	
			poids en cwts	valeur en roupies	poids en cwts	valeur en roupies
1912-1913			430	50 486	56 564	4 389 676
1913-1914			274	38 021	41 313	3 551 481
1914-1915			338	39 985	25 344	2 304 272
1915-1916			893	101 512	27 117	2 683 198
1916-1917			2 652	170 826	52 890	4 463 689

(1) Ce qui donne une valeur de 142 fr 70 pour le quintal anglais.

TABLEAU II. — *Répartition de l'exportation du mica indo-britannique pour la période 1904-1908.*

PAYS DESTINATAIRES	QUANTITÉS MOYENNES quintal anglais	QUANTITÉS MOYENNES pourcentage de l'exportation totale	VALEUR MOYENNE en livres sterlings	VALEUR MOYENNE pourcentage de l'exportation totale
Angleterre	17 226	52,8 %	102 307	61,9 %
Etats-Unis	4 781	14,7	29 497	17,8
Allemagne	7 391	22,7	21 337	12,9
Belgique	1 050	2,2	3 551	2,1
France	558	1,7	2 497	1,5
Autres pays	1 599	4,9	6 214	3,8

Cette exportation, qui s'effectue généralement par les deux ports de Calcutta et Bombay, a forcément changé de destinations depuis septembre 1914, par suite des événements militaires; le mica destiné avant cette date à la Belgique, à l'Allemagne, à l'Autriche-Hongrie et aux Balkans, a d'abord pris le chemin de l'Angleterre, des Etats-Unis et de la France, puis en dernier lieu le gouvernement anglais s'en est réservé la production totale exclusive.

Les gisements de muscovite de l'Inde ou mica blanc approvisionnent au moins les deux tiers de la consommation mondiale. On y trouve des feuilles de couleur assez défectueuses, mais en même temps les couleurs les plus précieuses, telles que le rubis pur, l'ambre, le vert pâle, le blanc transparent et le blanc d'argent.

En général, dans cette vaste contrée, les exploitations de mica ne sont pas administrées avec la méthode et la science modernes, comme en Amérique. Mais d'abord la main-d'œuvre y est abondante : en 1908, 15277 ouvriers indigènes étaient employés à ces mines, répartis ainsi :

Dans le gouvernement du Bengale : 10287 ouvriers;

A la présidence de Madras 4661 ouvriers ;

Digitized by Google

Dans le protectorat de Rajputana : 329 ouvriers.

Cette main-d'œuvre est composée de métis d'Indous, de Santalis et d'Uyrias. On a importé d'autres travailleurs plus solides : des Pathans et Mahométans de la frontière nord-ouest. Les salaires sont de 4 à 6 annas par homme et de moitié moins pour les femmes et les enfants.

En second lieu cette main-d'œuvre est bon marché et diminue le prix de revient au pied de la mine. Mais ce qui fait rechercher le mica indien de préférence à celui du Canada, des ~~Etats-Unis~~ et d'ailleurs, ce n'est pas tant son prix réduit que la régularité des expéditeurs de l'Inde à envoyer toujours une qualité type invariable, comme couleur, élasticité, friabilité, etc. (1).

Japon. — On signale des gisements micafères dans les îles méridionales de Lou-tchou ; mais les transactions, qui étaient réduites en 1905, le sont encore actuellement, nous avons pourtant trace de mica ambré japonais assez pauvre vendu sur marché londonien en 1910. Les gisements d'Otakisan et Arva ont été analysés par le savant japonais Takayama.

Sibérie. — On a trouvé des gisements de biotite dans les environs du lac Baïkal, sur les bords de la rivière Sljudjanks. Tout le mica qui se trouvait en Allemagne vers 1796 venait de Sibérie, des abords des torrents Witin, Mama, Aldan et Olekma, affluents du fleuve Lena.

La muscovite d'Okhotsk a été étudiée par le chimiste allemand Heinrich Rose (mort en 1864).

Turquie d'Asie. — Plinius (Caius Secundus) vantait les gisements de mica de l'ancien royaume de Cappadoce en Asie Mineure. C'est actuellement la région du Haut-Kizil Irmak (pachalik de Siwas) au nord de Kaisarieh.

(*A suivre.*)

Désiré Pector.
Conseiller honoraire du Commerce extérieur.

(1) Parmi les documents publiés sur les micas de l'Inde, on peut citer les suivants :

Thompson (R. W.). Mica Mining in the District of Nellore (India) p. 671, du t. xlvi du *Journal of the Society of Arts*, 1898.

Dickson and Krishnauja. *Transactions of the Mining et Geological Institute of India*, p. 57 du t. iii, 2e partie et p. 181 du t. vi partie A.

Smith. (A. M.). Mica mining in Bengal (India), p. 246 de l'*Engineering and Mining Journal*, t. xviii, 1899.

Holland. (T. H.) The mica deposits of India, 2e partie du t. xxxiv, des *Memoirs of the Geological Survey of India* 1902.

The mica deposits in India, p. 49, du *Bulletin de l'Imperial Institute* 1903.

Stonier (George A.). Mica mining in Nellore (Southern India), *Transactions of Mining and Metallurg. Institute*, 19 janvier 1906.

Records of Geological Survey of India, p. 168 et suivantes du t. xxxix, 1910.

Harras (E.) Exploitation du mica dans l'Inde (New-York Scientific American) New-York juillet 1911.

Le mica dans l'Inde. *Revue internationale des caoutchoucs*, Paris 15 septembre 1911.

Dixon (Abner F.) Mining industry in India (*Transactions of the American Institute of Mining Engineers*) New-York, mai 1913, t. xiv p. 94-112.

Dickson (Archibald A. C.) Indian mining industry. *Engineering Journal*, août 1913.

ERRATUM

Dans le numéro du 4 janvier 1919, t. v, de la « Revue générale de l'Electricité », il s'est glissé les erreurs suivantes dans l'article de M. Paul Rieunier « Emploi des moteurs synchrones pour améliorer le facteur de puissance. Etude de la formule générale » :

Page 3, 2e col., 8e ligne, *lire* nous avons accoutumé *au lieu de* nous sommes accoutumés.

Page 3, 2e col., 12e ligne, *lire* cos φ_1 *au lieu de* cos φ.

Page 7, 1re col., 21, 22 et 23e lignes, *lire* : celui des deux points situés dans l'angle yOx' pour lequel cos $\varphi_1 > 0$, sin $\varphi_1 > 0$, tg $\varphi_2 < 0$ et $\frac{S}{R} > 0$ ayant l'abscisse telle que tg $\varphi_2 =$ tg φ_1 en valeur absolue, *au lieu de* : celui situé dans l'angle xOy', pour lequel cos $\varphi_1 > 0$, sin $\varphi_1 > 0$, tg $\varphi_2 < 0$ et $\frac{S}{R} > 0$.

Page 13, 1re col., 34e ligne, *lire* avant *au lieu de* arrière.

Page 14, 2e col., 30e ligne, *lire* analogie *au lieu de* anologie.

Page 15, 2e col., 2e ligne, *lire* l'ellipse lieu *au lieu de* l'ellipse du lieu.

Dans le n° 15 du 12 avril 1919, p. 571, Assemblées générales, lire *Est électrique* au lieu de *Est-Lumière*.

Dans l'article de M. Vogt, paru dans le numéro 16, tome v, du 19 avril 1919, il s'est glissé les erreurs typographiques suivantes : Page 583, 2e colonne, 5e ligne, à la place de $d^2(D)$ il faut lire : $d(D)$ et page 587, 1re colonne, 13e ligne, à la place de D^3x, il faut lire D^2x_1.

Digitized by Google

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Loi sur la journée de huit heures.

Voici le texte de cette loi, en date du 23 avril 1919, publié au « Journal officiel » du 25 avril, p. 4266.

Le Sénat et la Chambre des députés ont adopté ;

Le Président de la République promulgue la loi dont la teneur suit :

ARTICLE PREMIER. — Le chapitre II (durée du travail) du titre 1er du livre II du Code du Travail et de la Prévoyance sociale est modifié comme suit :

CHAPITRE II. — *Durée du travail.*

« *Art. 6.* — Dans les établissements industriels et commerciaux ou dans leurs dépendances, de quelque nature qu'ils soient, publics ou privés, laïques ou religieux, même s'ils ont un caractère d'enseignement professionnel ou de bienfaisance, la durée du travail effectif des ouvriers ou employés de l'un ou de l'autre sexe et de tout âge ne peut excéder soit huit heures par jour, soit quarante-huit heures par semaine, soit une limitation équivalente établie sur une période de temps autre que la semaine.

» *Art.* 7. — Des règlements d'administration publique déterminent par profession, par industrie, par commerce ou par catégorie professionnelle, pour l'ensemble du territoire ou pour une région, les délais et conditions d'application de l'article précédent.

» Ces règlements sont pris, soit d'office, soit à la demande d'une ou plusieurs organisations patronales ou ouvrières, nationales ou régionales intéressées. Dans l'un et l'autre cas, les organisations patronales et ouvrières intéressées devront être consultées : elles devront donner leur avis dans le délai d'un mois. Ils sont revisés dans les mêmes formes.

» Ces règlements devront se référer, dans le cas où il en existera, aux accords intervenus entre les organisations patronales et ouvrières nationales ou régionales intéressées.

» Ils devront être obligatoirement revisés lorsque les délais et conditions qui y seront prévus seront contraires aux stipulations des conventions internationales sur la matière.

» *Art. 8.* — Les règlements d'administration publique prévus à l'article précédent détermineront notamment :

» 1° La répartition des heures de travail dans la semaine de quarante-huit heures afin de permettre le repos de l'après-midi du samedi ou toute autre modalité équivalente;

» 2° La répartition des heures de travail dans une période de temps autre que la semaine ;

» 3° Les délais dans lesquels la durée actuellement pratiquée dans la profession, dans l'industrie, le commerce ou la catégorie professionnelle considérée, sera ramenée en une ou plusieurs étapes aux limitations fixées à l'article 6 ;

» 4° Les dérogations permanentes qu'il y aura lieu d'admettre pour les travaux préparatoires ou complémentaires qui doivent être nécessairement exécutés en dehors de la limite assignée au travail général de l'établissement ou pour certaines catégories d'agents dont le travail est essentiellement intermittent ;

» 5° Les dérogations temporaires qu'il y aura lieu d'admettre pour permettre aux entreprises de faire face à des surcroîts de travail extraordinaires, à des nécessités d'ordre national ou à des accidents survenus ou imminents ;

» 6° Les mesures de contrôle des heures de travail et de repos et de la durée du travail effectif, ainsi que la procédure suivant laquelle seront accordées ou utilisées les dérogations ;

» 7° La région à laquelle ils sont applicables. »

ART. 2. — La réduction des heures de travail ne pourra, en aucun cas, être une cause déterminante de la réduction des salaires.

Toute stipulation contraire est nulle et de nul effet.

ART. 3. — Les dispositions du chapitre II actuellement en vigueur seront abrogées dans chaque région et pour chaque profession, industrie, commerce ou catégorie professionnelle à partir de la mise en application des règlements d'administration publique intéressant ladite profession, industrie, ledit commerce ou ladite catégorie professionnelle dans cette région.

ART. 4. — La présente loi est applicable à l'Algérie et aux colonies.

La présente loi, délibérée et adoptée par le Sénat et par la Chambre des députés, sera exécutée comme loi de l'Etat,

Fait à Paris, le 23 avril 1919.

Loi complétant l'article 14 de la loi du 18 décembre 1915 sur les sociétés coopératives ouvrières de production et l'organisation du crédit au travail en France.

Voici le texte de cette loi, en date du 5 avril 1919, publiée au « Journal officiel » du 8 avril, p. 3674.

Le Sénat et la Chambre des Députés ont adopté ;

Le Président de la République promulgue la loi dont la teneur suit :

Article unique. — L'article 14 de la loi du 18 décembre 1915 est complété par la disposition suivante :

« Les avances prévues au paragraphe précédent en faveur des sociétés ouvrières de production pourront être portées au double de l'actif net dont justifiera la société emprunteuse, si ces sociétés sont composées, pour les trois quarts au moins, de mutilés, de réformés et de veuves pensionnées de la guerre. »

La présente loi, délibérée par le Sénat et par la Chambre des Députés, sera exécutée comme loi de l'Etat.

Fait à Paris, le 5 avril 1919.

Digitized by Google

Arrêt du Conseil d'Etat concernant le relèvement du prix du gaz.

Dans sa séance du 21 février 1919, le Conseil d'Etat a pris l'arrêté suivant dans l'affaire Compagnie nouvelle d'Eclairage et de Chauffage par le Gaz contre Ville de Libourne (1).

Le Conseil d'Etat statuant au Contentieux,

Vu la requête sommaire et le mémoire ampliatif présentés pour la Compagnie nouvelle d'Eclairage et de Chauffage par le Gaz, dont le siège social est à Bordeaux, cours de Tourny, n° 50, et tendant à ce qu'il plaise au Conseil annuler un arrêté, en date du 3 décembre 1915, par lequel le Conseil de Préfecture du département de la Gironde a débouté la Compagnie requérante de la demande formée par elle, en vue de faire reconnaître son droit à une indemnité à payer par la ville de Libourne, ou à un relèvement du prix du gaz fourni à cette ville et à ses habitants.

. . . . . .

Ouï M. de Tinguy du Pouët, Maître des Requêtes, en son rapport ;

Ouï Me Boivin-Champeaux, avocat de la Compagnie nouvelle d'Eclairage et de Chauffage par le Gaz, en ses observations ;

Ouï M. Riboulet, Maître des Requêtes, Commissaire du Gouvernement, en ses conclusions.

Considérant qu'en principe le contrat de concession règle d'une façon définitive, jusqu'à son expiration, les obligations respectives du concessionnaire et du concédant ; que le concessionnaire est tenu d'exécuter le service prévu dans les conditions précisées au traité et se trouve rémunéré par la perception sur les usagers des taxes qui y sont stipulées ; que la variation du prix des matières premières à raison des circonstances économiques constitue un aléa du marché qu'il peut, suivant le cas, être favorable ou défavorable au concessionnaire et demeure à ses risques et périls, chaque partie étant réputée avoir tenu compte de cet aléa dans les calculs et prévisions qu'elle a faits avant de s'engager.

Mais, considérant que, par suite de l'occupation par l'ennemi de la plus grande partie des régions productrices de charbons dans l'Europe Continentale, de la difficulté de plus en plus considérable des transports par mer, à raison, tant de la réquisition des navires que du caractère et de la durée de la guerre maritime, la hausse survenue au cours de la guerre actuelle dans le prix du charbon, qui est la matière première de la fabrication du gaz, s'est trouvée atteindre une proportion telle, que non seulement elle a un caractère exceptionnel, dans le sens habituellement donné à ce terme, mais qu'elle entraîne dans le coût de la fabrication du gaz, une augmentation qui, dans une mesure déjouant tous les calculs, dépasse certainement les limites extrêmes des majorations ayant pu être envisagées par les parties, lors de la passation du contrat de concession ; que, par suite du concours des circonstances ci-dessus indiquées, l'économie du contrat se trouve absolument bouleversée ; que la Compagnie nouvelle d'Eclairage et de Chauffage par le gaz est donc fondée à soutenir qu'elle ne peut être tenue d'assurer, aux seules conditions prévues à l'origine, la fourniture du Gaz à la ville de Libourne, tant que durera la situation anormale ci-dessus décrite ;

Considérant qu'il résulte de ce qui précède que si la compagnie requérante n'est pas fondée à prétendre qu'elle ne peut être tenue de supporter aucune augmentation des matières premières et que le nouveau prix du gaz fourni doit être calculé en tenant compte de l'intégralité de cette augmentation, il sera tout à fait excessif d'admettre qu'il y a lieu à l'application pure et simple du contrat, comme si l'on se trouvait en présence d'un aléa ordinaire de l'entreprise ; qu'il importe au contraire de rechercher, pour mettre fin aux difficultés existantes, une solution qui tienne compte tout à la fois de l'intérêt général, lequel exige la continuation du service par la Compagnie à l'aide de tous ses moyens de production et des conditions spéciales qui ne permettent pas au contrat de recevoir son application normale ; qu'à cet effet il convient de décider, d'une part, que la Compagnie est tenue d'assurer le service concédé et, d'autre part, qu'elle doit supporter seulement, au cours de cette période transitoire, la part des conséquences onéreuses de la situation de force majeure, ci-dessus rappelée, que l'interprétation raisonnable du contrat permet de laisser à sa charge ; qu'il y a lieu, en conséquence, en annulant l'arrêté attaqué de renvoyer les parties devant le Conseil de Préfecture auquel il appartiendra si elle ne parviennent pas à se mettre d'accord sur les conditions spéciales dans lesquelles la Compagnie pourra continuer le service, de déterminer, en tenant compte de tous les faits de la cause, notamment de la hausse des prix tant de la matière première servant à la fabrication du gaz et de la main-d'œuvre utilisée pour cette fabrication que des sous-produits vendus par la Compagnie, le montant de l'indemnité à laquelle celle-ci peut avoir droit à raison des circonstances extra-contractuelles dans lesquelles elle a assuré le service pendant la période envisagée ;

Décide :

Article premier. — L'arrêté susvisé du Conseil de Préfecture du Département de la Gironde est annulé.

Art. 2. — La Compagnie nouvelle d'Eclairage et de Chauffage par le Gaz et la ville de Libourne sont renvoyées devant le Conseil de Préfecture pour être procédé, si elles ne s'entendent pas sur les conditions spéciales auxquelles la Compagnie continuera son service, à la fixation de l'indemnité à laquelle la Compagnie peut avoir droit à raison des circonstances extra-contractuelles dans lesquelles elle aura dû assurer son service, compte étant notamment tenu tant de la hausse des matières premières et de la main-d'œuvre nécessaires à la fabrication du gaz que de celle des sous produits de cette fabrication.

Art. 3. — Le surplus des conclusions de la requête est rejeté.

Art. 4. — La ville de Libourne supportera la totalité des dépens tant devant le Conseil de Préfecture que devant le Conseil d'Etat.

(1) Un même arrêt a été pris à la même date dans une autre affaire identique de la même Compagnie contre la Ville de Blaye.

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — RGE — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF : Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. TOME V. — N° 19. 10 MAI 1919.

Chronique. — Nécrologie : Sir William Crookes. — La future exportation allemande. — Les travaux de la Commission électrotechnique internationale. — Légion d'honneur, p. 681-682.

Section scientifique et technique. — Du régime de fonctionnement électrique des lampes au tungstène (en atmosphère d'argon), par H. PÉCHEUX, p. 683. — Revues, analyses et informations : Conditions à remplir lorsqu'on veut, dans une installation hydraulique, augmenter le débit, et par suite le travail, sans modifier la conduite, p. 687; Energie de l'émission des rayons X caractéristiques par le molybdène et le palladium en fonction de la tension appliquée, p. 688.

Section industrielle. — L'usine hydro-électrique de l'Ance de la Compagnie électrique de la Loire et du Centre *(suite et fin)*, par Jacques DE SOUCY, p. 689.

Section économique et financière. — De quelques matières premières nécessaires à l'industrie électrique : Le mica *(suite)*, par Désiré PECTOR, p. 701. — Revues, analyses et informations : Les conséquences économiques de la guerre aux Etats-Unis, p. 707; L'épargne française et ses placements pendant la période d'avant-guerre, p. 708.

Section de législation. — Les patrons peuvent-ils être obligés de retenir sur les salaires dus à leurs ouvriers ou employés les impôts qui sont réclamés par le fisc? par Paul BOUGAULT, p. 709. — Législation, jurisprudence, réglementation : Arrêt du Conseil d'Etat concernant le relèvement du prix du gaz, p. 711.

Nécrologie : Sir William Crookes. — Sir William Crookes, le savant anglais universellement connu, vient de s'éteindre à Londres à l'âge de 87 ans. Les travaux de Crookes sont fort nombreux et nous n'avons pas la prétention de les passer tous en revue dans cette courte nécrologie, nous nous contenterons de signaler les plus saillants.

Né à Londres en 1832, Crookes fit ses études au Royal College, il devint l'assistant du Dr Hofmann de 1850 à 1854 et entra ensuite à l'Observatoire météorologique d'Oxford. En 1859, il fonda le journal « Chemical News » dont il fut à la fois le directeur et le propriétaire jusqu'à sa mort.

Sa première publication scientifique fut un travail sur les cyanures de sélénium en 1851, quelques années plus tard il annonçait la découverte qu'il venait de faire d'un nouvel élément: le thallium.

L'étude des propriétés de ce métal et de ses composés l'occupèrent pendant plusieurs années. C'est également Crookes qui fut le premier à appliquer la photographie à l'étude des raies du spectre, et c'est à la suite d'une longue série de travaux sur cet important sujet qu'il créa ses radiomètres aujourd'hui bien connus.

Poursuivant l'étude des radiations qui le captivaient, Crookes présentait en 1879 à la British Association de Sheffield une étude importante sur la « matière radiante » dans laquelle on trouve de curieuses observations sur la décharge électrique dans le vide, observations qui ont été le point de départ de découvertes importantes. Entre temps, la Royal Society lui remit dès 1875 la Royal medal pour ses recherches et, en 1880, l'Académie française des sciences lui décerna un prix de 3 000 fr avec médaille d'or en reconnaissance des progrès qu'il avait fait faire aux Sciences. Nommé en 1886 président de la Section de Chimie de la British Association, Crookes, dans son discours inaugural, montra, dès cette époque, que l'on pouvait considérer les éléments chimiques comme dérivant d'une matière primitive par une évolution continue. Poursuivant ses investigations, Crookes ne devait pas rester insensible à la découverte de la radio-activité par Curie en 1896.

Il étudia de son côté le radium d'une manière toute spéciale et, en particulier, il examina en compagnie de James Dewar l'effet d'un froid intense sur le caractère spectroscopique des gaz issus du radium ainsi traité. Inventeur du spinthariscope, Crookes contribua beaucoup à l'étude des corps radioactifs, étude qui rentrait si bien dans ses recherches préférées qui ont toujours porté sur les radiations.

Titulaire de la médaille Davy en 1888, Crookes fut président en 1891 de l'Institution of Electrical Engineers. En 1898, il fut élu président de la British Association et, à partir de cette date, les titres et distinctions honorifiques dont il fut l'objet, dans son pays aussi bien qu'à l'étranger, ne se comptent plus.

Notons en passant un détail assez peu connu, Crookes fut en 1881 un des premiers en Angleterre à doter sa maison d'un éclairage électrique vraiment digne de ce nom. Produite par une dynamo Burgen mue par un moteur à gaz, l'énergie électrique alimentait des lampes

Digitized by Google

à incandescence de sa propre fabrication, chose difficile à réaliser à l'époque.

Le monde scientifique perd avec Crookes un de ses plus remarquables travailleurs, on nous permettra de nous associer à ce deuil de ce pionnier de la science au visage à la fois grave et sympathique que beaucoup de nos lecteurs ont connu. A. S.

La future exportation allemande. — Les Allemands se préoccupent beaucoup actuellement des moyens qu'ils pourront employer pour faire pénétrer leurs marchandises dans les pays alliés dès la signature de la Paix. Un de leurs nombreux journaux donne dans son numéro du 16 février 1919 des indications à ce sujet qu'il est utile de connaître, nous en citerons quelques passages recueillis et signalés également par l' « Exportateur français » avec lequel nous ne pouvons faire que cause commune pour cette question.

« Ce qui rend difficile la reprise de nos relations avec les pays ennemis, ce n'est pas seulement la menace de la guerre économique mais plutôt l'*épidémie psychique* dont sont atteints des peuples entiers, résultat de cette partie de la guerre connue sous le nom de « propagande ».

» L'aversion pour tout ce qui est « allemand » créera longtemps encore dans la vie économique une situation pareille à l'état de guerre, aussi beaucoup de gens tournent-ils leurs regards vers les neutres comme des *auxiliaires*. Mais on est revenu de cette idée de faire passer des marchandises allemandes en contrebande et *sous marque de fabrique neutre* dans les pays ennemis.

» Il existe un autre projet qui doit être examiné plus sérieusement, c'est celui de créer des *succursales de nos entreprises* dans les pays neutres. Mais contre cette tentative, la Suisse, par exemple, a pris des mesures pour que des articles provenant de telles usines-succursales ne puissent être désignés comme suisses et exportés comme tels. Ainsi, ces articles ne sont pas admis à la foire d'échantillons de Bâle et le futur règlement d'importation interdira sûrement l'entrée de ces fausses marchandises suisses, tout au moins en France et en Angleterre.

» *On essaiera de tourner ces difficultés en fondant dans les pays neutres des firmes locales (nationales) sous la couverture d'hommes de paille.* Pour la période qui suivra immédiatement la guerre, le neutre est le représentant tout indiqué des firmes allemandes, il pénètre sans la moindre difficulté en France et en Angleterre, le neutre, lui, réussira bien à regagner le client à la marchandise allemande, laquelle doit naturellement parler pour elle-même. Evidemment cette tâche exige une grande habileté et des capacités toutes particulières. Ce représentant, il est désirable qu'il soit politiquement de *sentiments germaniques*, car en même temps que pour les marchandises, cela lui permettra de gagner des amis aux tendances (à l'esprit) allemandes. Mais cela ne devrait pas être un motif d'exclusion ni être la seule condition; ce qui est le plus important, c'est qu'il connaisse sa partie ainsi que la clientèle. »

En livrant cet extrait de l'article en question aux réflexions de nos lecteurs nous n'avons pas besoin d'insister pour leur montrer avec quelle circonspection ils doivent examiner les marchandises qui leur sont offertes venant de pays neutres ou d'ailleurs. — A. S.

Les travaux de la commission électrotechnique internationale. — Ainsi que nous l'avons antérieurement annoncé, le Comité des Spécifications de la Commission électrotechnique internationale s'est réuni à Paris en vue d'étudier quelques points de la réglementation des machines électriques.

Les réunions ont commencé lundi dernier, 5 mai, et ont continué pendant les journées de mardi et mercredi.

La Belgique était représentée par M. Fernand van de Wiel; le Canada par le Major Gill; les Etats-Unis par le président de l'American Institute of Electrical Engineers, le Professeur S.-A. Adams, M. H.-M. Hobart et le Docteur C.-O. Mailloux; la Grande-Bretagne, par MM. A.-R. Everest, C. Rodgers et Roger T. Smith, accompagnés de M. Le Maistre, secrétaire général de la Commission électrotechnique internationale; la France par MM. Boucherot et Ch. David; l'Italie par MM. Morelli, G. Semenza et del Buono.

Le mercredi soir un banquet, présidé par M. Maurice Leblanc, président de la Commission électrotechnique internationale, réunissait au Palais d'Orsay les délégués et un certain nombre des membres du Comité électrotechnique français : MM. Brylinski, président de ce Comité, Legouez, Janet, Brocq, Blondin, etc.

Légion d'honneur. — Parmi les membres de notre Comité de Rédaction, qui ont le plus contribué à adapter la physique moderne aux besoins de la défense nationale, nous sommes heureux de citer M. Paul Langevin, professeur au Collège de France et Directeur des Etudes à l'Ecole de Physique et de Chimie. A la suite de nombreux travaux dont nous ne pouvons encore parler et qui ont porté sur le repérage des sous-marins, M. Langevin a été promu chevalier de la Légion d'honneur. Nous sommes heureux à ce propos d'adresser à notre éminent collaborateur nos plus sincères félicitations.

— Par décret du Président de la République en date du 4 avril 1919 inséré au « Journal Officiel » du 6 avril 1919, M. A. Egnell, administrateur délégué de la Société d'Electricité Mors et de la Société Appareillage Electrique Grivolas, a été nommé chevalier de la Légion d'honneur.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Du régime de fonctionnement électrique des lampes au tungstène (en atmosphère d'argon)

Dans cet article l'auteur, comme il l'avait fait antérieurement pour les lampes à filament dans le vide, *étudie l'influence du* survoltage *sur l'*intensité lumineuse; *mais il envisage, de plus, les variations du* coefficient caractéristique *du filament, non seulement en fonction de la nature du filament, mais, pour un filament donné,* en fonction du temps *pendant lequel il est soumis au courant.*

Nous avons exposé dans « La Lumière électrique », 16 mai 1908, 24 juin 1911 et 20 mars 1912, le résultat de nos essais sur les lampes à filament métallique (tungstène filé, tantale; filament étiré de tungstène, dans le *vide*) et nous avons montré l'intérêt que présente la détermination du rapport de la résistance *à chaud* (à la tension normale), à la résistance *à froid* (à la température ordinaire), pour caractériser la nature et la pureté du filament. — Nous avons repris récemment, cette étude pour les lampes nouvelles fonctionnant avec filament en atmosphère gazeuse et nous allons exposer les résultats de nos mesures.

Les propriétés d'un filament de lampe sont bien établies par le relevé de la *caractéristique*, et par la *formule* : $L = A\,E^m$, qui lie l'intensité lumineuse horizontale L à la tension E aux bornes de la lampe; A et m étant deux coefficients qui dépendent non seulement de la nature du filament mais de l'intensité lumineuse qu'il fournit; et, enfin, par le rapport $\frac{R_n}{R_0}$ de la résistance R_n à la tension normale et de la résistance R_0 à 0°.

I. — **Caractéristiques.** — Elles s'obtiennent en soumettant le filament de la lampe à des tensions croissantes, depuis quelques volts jusqu'à la tension normale et même au delà, et en portant sur un système d'axes de coordonnées rectangulaires : en abscisses, les intensités I en ampères; en ordonnées les différences de potentiel E en volts. Nous avons opéré, successivement, en courant continu et en courant alternatif à 50 p : sec.

A). *Caractéristiques en courant continu.* — Nous avons essayé six lampes (type *Philips*) : deux de 25 bougies décimales; deux de 32 bougies; deux de 50, avec filament dans l'*argon*. Les mesures ont été faites à l'aide des ampèremètre et voltmètre Chauvin et Arnoux, donnant respectivement le $\frac{1}{400}$ d'ampère et le $\frac{1}{4}$ de volt. Nous avons relevé plusieurs caractéristiques pour chaque lampe, à des intervalles de 100 heures de fonctionnement.

Exemple d'un essai (sur la lampe n° 17, 25 bougies, 110-115 volts).

E volts	1 v	16,5	27,5	32,5	39	53,5	77	94	105,5	110,5	120
I ampères	0,02 A	0,0875	0,1025	0,1100	0,1166	0,1350	0,1575	0,1750	0,1850	0,1900	0,1975

Nota. — Cette lampe commence à rougir à 16 v, comme la lampe n° 18 (de 25 bougies), ainsi que les lampes de 50 bougies (115-120 v); ces lampes sont plus brillantes que les deux lampes de 32 bougies qui rougissent à 20 v seulement (lampes de 115-120 v); à noter qu'une lampe à filament dans le *vide* rougit à 10 v.

1° La figure 1 montre les caractéristiques relevées avec les six lampes en question, au début du fonctionnement de ces lampes.

L'examen des courbes de la figure 1 montre que :

a) Le coefficient angulaire de chaque caractéristique croît, *rapidement* d'abord, jusqu'à la tension à partir de laquelle le filament commence *à rougir*; ensuite, il croît moins vite;

b) Ce coefficient angulaire est d'autant plus élevé que le filament est *plus fin* (intensité lumineuse plus faible).

2° Les *caractéristiques* relevées après cent heures de fonctionnement continu présentent, toutes, un coefficient angulaire *plus faible*; ce coefficient diminue encore après deux cents heures; au bout de trois cents heures et au

Digitized by Google

delà, il se *relève* (nous *interprèterons*, plus loin, ces résultats très intéressants).

B). *Caractéristiques en courant alternatif.* — Nous nous sommes servi, pour les mesures, d'un ampèremètre et d'un voltmètre thermiques (Chauvin-Arnoux); — les caractéristiques obtenues sont *toutes* très légèrement *relevées* par rapport aux précédentes : le coefficient angulaire est donc *un peu plus grand*, mais l'écart est *très faible* (de l'ordre de 4 pour 1 000 en général).

Nota. — Les filaments de ces lampes sont des demi-polygones réguliers (demi-octogones pour les lampes 110-115 v; demi-hexagones pour les lampes 115-120 v), disposés dans un plan perpendiculaire à l'axe de chaque lampe; la self-induction d'un tel filament est pratiquement négligeable.

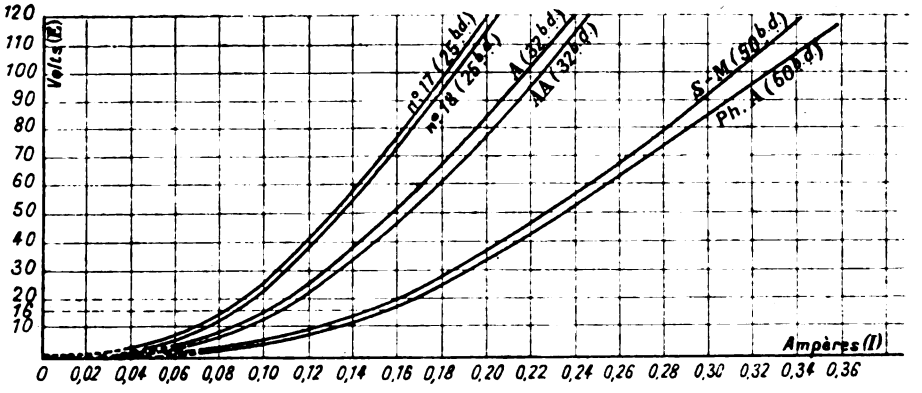


Fig. 1. — Caractéristiques des lampes en courant continu.

En courant alternatif, les filaments commencent à rougir *un peu plus tôt* qu'en courant continu: les lampes de 25 b et 50 b (sous 110-115 v et 115-120 v) à 12,5 v; les lampes de 32 b (115 v-120 v) à 15 v : ces dernières renferment de l'argon à une *pression* un peu supérieure (elles sont *plus dures*).

II. — **Intensité lumineuse.** — Nous avons mesuré l'*intensité lumineuse horizontale*, L, dans la direction la plus favorable, et de la même façon pour les six types de lampes; ceci, à l'aide du photomètre Bunsen-Burel, et par comparaison avec une flamme de bougie de l'Étoile, étalonnée au préalable (et valant 1,25 bd); nous avons fait, pour chaque lampe, deux mesures, à des tensions voisines de la tension normale.

Nous avons ensuite, à l'aide des résultats obtenus, calculé (comme nous l'avions fait antérieurement pour les filaments dans le vide), les coefficients de la formule $L = A\,E^m$. Voici ces résultats que nous avons consignés dans le tableau ci-après, avec en regard de chaque formule, et pour chaque type, la consommation spécifique normale $\frac{W}{L}$, et la variation moyenne d'intensité lumineuse $\frac{\Delta L}{\Delta E}$, dans le voisinage de la tension normale; et au début du fonctionnement de chaque lampe.

Tableau I.

NUMÉROS DES LAMPES	1° EN COURANT CONTINU					
	intens. lumin. horizontale (bougies décimales)	tension normale indiquée (volts)	tension normale calculée (volts)	FORMULE $L = A E^m$	$\frac{W}{L}$ (watts par bougie)	$\frac{\Delta L}{\Delta E}$ (bougies déc. par volt)
17	25	110—115	112	$2{,}54 \times 10^{-4} \times E^{3{,}43}$	0,85	0,532
18	25	110—115	113	$2{,}91 \times 10^{-4} \times E^{3{,}41}$	0,86	0,539
A	32	115—120	115,5	$5{,}89 \times 10^{-6} \times E^{3{,}26}$	0,84	0,864
AA	32	115—120	114	$2{,}84 \times 10^{-6} \times E^{3{,}43}$	0,84	0,888
Ph-A	50	110—115	116	$6{,}18 \times 10^{-4} \times E^{2{,}38}$	0,81	0,956
S-M	50	115—120	119	$2{,}89 \times 10^{-4} \times E^{2{,}52}$	0,80	0,931

Si l'on compare les coefficients m et A à ceux que donnent les lampes à filament dans le vide, on constate que m est plus *faible* et A plus grand, pour une même intensité lumineuse et une même tension; la variation $\frac{\Delta L}{\Delta E}$ est *plus faible* que pour les filaments dans le vide : ce qui représente un avantage appréciable au point de vue de la fixité de la lumière. On voit que, pour des lampes de même intensité, m caractérise assez nettement la tension; si les filaments étaient de même pureté, m et A seraient constants pour E et L donnés; ce qu'il est difficile de réaliser pratiquement.

Digitized by Google

Tableau II.

NUMÉROS DES LAMPES	2° EN COURANT ALTERNATIF				
	intens. lumin. horizontale (bougies déc.)	tension normale calculée (volts)	FORMULE $L = AE^m$	$\frac{W}{L}$ (watts par bougie)	$\frac{\Delta L}{\Delta E}$ bougies déc. par volts)
17	25	113	$1{,}27 \times 10^{-4} \times E^{2{,}58}$	0,89	0,52
18	25	114	$1{,}37 \times 10^{-4} \times E^{2{,}56}$	0,89	0,53
A	32	122	$7{,}7 \times 10^{-6} \times E^{3{,}17}$	0,88	0,70
A A	32	122	$10{,}75 \times 10^{-6} \times E^{3{,}10}$	0,88	0,71
Ph-A	50	126	$2{,}15 \times 10^{-3} \times E^{2{,}08}$	0,85	0,73
S-M	50	126	$8{,}84 \times 10^{-3} \times E^{1{,}96}$	0,85	0,73

L'examen du tableau II nous montre que, sur courant alternatif, la consommation spécifique est *plus grande* que sur courant continu ; et la variation moyenne d'intensité lumineuse $\frac{\Delta L}{\Delta E}$ est *plus faible*, surtout avec les lampes d'intensité plus forte. On remarque, d'autre part, les valeurs *très voisines* de m, pour les lampes de même intensité lumineuse, et de même tension normale : elles sont *plus faibles* qu'un courant continu (sauf pour les lampes de 25 bougies, dont la tension est sensiblement la même).

Nota. — L'examen photométrique des lampes sur courant alternatif, ne décèle pas de *vacillement* (M. M. Leblanc fils l'avait constaté déjà en 1915, sur les lampes à atmosphère d'azote).

III. — **Coefficient de réduction sphérique.** — Etant donnée la *forme particulière* du filament, il est aisé de comprendre que le flux lumineux, émis parallèlement à l'axe est supérieur à celui que l'on évalue horizontalement. Nous avons, dans le but de déterminer ce coefficient, mesuré l'intensité lumineuse *sous divers angles*, et construit la courbe de répartition du flux autour du foyer principal, ce qui nous a fourni l'*intensité moyenne sphérique* L_s. Nous en avons déduit, pour chaque cas, le coefficient de réduction sphérique $\left(\frac{L_s}{L}\right)$, dont la valeur moyenne, pour ce type de lampes, est 1,08. Il en résulte que la consommation spécifique, ramenée à L_s, est un peu plus faible : on la déduirait aisément des tableaux précédents, en divisant les résultats $\left(\frac{W}{L}\right)$ par 1,08.

IV. — **Variation de l'intensité lumineuse.** — Des mesures faites à intervalles assez éloignés nous ont montré que l'intensité lumineuse de ces lampes s'*accroissait* pendant les premières heures de fonctionnement, passait par un *maximum* et diminuait ensuite et linéairement en fonction du temps. Les quelques exemples qui suivent mettent ce fait en évidence.

a) *N° 17*, 25 b, donne, sous 110 v : 22 b au début; 23,4 b après 170 heures et 22,6 b après 500 heures.

b) *Lampe A*, 32 b, donne, sous 110 v : 22,6 b au début et 23,7 b après 170 heures. Cette variation d'intensité (signalée pour la première fois par Remané en 1908, dans l' « Elektrotechnische Zeitung » du 30 août 1908, pour les filaments dans le vide), est corrélative, comme nous l'indiquerons plus loin, d'une variation *inverse* de la résistance du filament.

V. — **Coefficient caractéristique** $\left(\frac{R_n}{R_0}\right)$. — Nous avons montré (« Lumière Electrique » du 24 juin 1911), que le coefficient $\left(\frac{R_n}{R_0}\right)$ caractérisait nettement la nature du filament d'une lampe et nous avons indiqué sa valeur pour quelques types. Dans le but de calculer ce coefficient pour les lampes dont il est question dans cette étude, nous avons relevé : 1° la résistance R_n, par le quotient $\frac{E}{I}$ à la tension normale; 2° la résistance R_0, par la mesure de la résistance à froid (de 10° à 12°) que nous avons effectuée au pont de Wheatstone et que nous avons ramenée à 0° centigrade.

Les résultats obtenus, pour R_n et pour R_0, ont montré

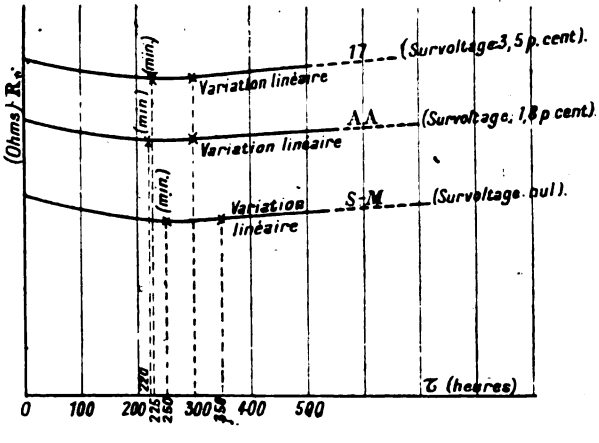


Fig. 2. — Variations de R_n avec le temps.

que ces 2 résistances du filament en courant alternatif (à 50 p : sec) *diminuaient* d'abord, assez brusquement et selon une loi sensiblement parabolique, *en fonction du*

Digitized by Google

temps; cette diminution est d'autant plus sensible que le filament a été davantage *survolté*, ou que l'*intensité lumineuse* est *plus grande* (filament plus gros); chacune des résistances (R_n ou R_0), passe par un *minimum*, au bout d'un temps d'autant moins éloigné que le survoltage, ou l'intensité lumineuse, sont plus considérables. La résistance croît ensuite, *linéairement*, mais plus lentement, et, au bout de 500 heures, elle n'a pas encore repris sa valeur du début. — L'*intensité lumineuse*, nous l'avons dit, suit une *loi inverse*. — Nous avons, à l'aide des résultats d'expérience, construit, pour 3 types de lampes, la courbe représentative des variations de R_n, jusqu'à la 500e heure. La figure 2 montre les courbes obtenues

Les formules *paraboliques* qui traduisent les variations de R_n avec le temps τ (en heures), sont les suivantes :

N° (17)	$R_n = R_0 (1 - 2{,}9 \times 10^{-4} \tau + 0{,}65 \times 10^{-6} \tau^2)$;
N° (AA)	$R_n = R_0 (1 - 5{,}3 \times 10^{-4} \tau + 1{,}20 \times 10^{-6} \tau^2)$;
N° (S-M)	$R_n = R_0 (1 - 8{,}5 \times 10^{-4} \tau + 1{,}70 \times 10^{-6} \tau^2)$;

Si l'on calcule à l'aide de ces formules, le coefficient angulaire $\left(\frac{dR_n}{d\tau}\right)$ de chacune des courbes de la figure 2, on constate que le minimum de chacune a lieu après : 225 h (17); 220 h (AA) et 250 h (SM).

La variation linéaire de R_n a lieu, ensuite, à partir de 300 h pour les 2 premières et de 350 h pour la 3e lampe.

A l'aide des *résistances correspondantes* à 0°, mesurées au bout des mêmes intervalles, nous avons pu calculer les variations du rapport $\frac{R_n}{R_0}$; ce coefficient obéit d'abord aux *mêmes lois de variation* que les 2 résistances; voici les valeurs que nous avons trouvées :

Nos	A L'ORIGINE	AU BOUT DE				
		100 heures	250 heures	300 heures	400 heures	500 heures
17	15,4	15	14,3	15,3	15,5	15,5
A A	14,9	14,9	14,6	14,8	14,8	14,8
S M	15,9	15,9	15,3	16	16,1	16,1

On voit par ce tableau, que $\frac{R_n}{R_0}$, après avoir passé par une *valeur minimum* à une époque voisine du minimum de R_n, paraît prendre, de la 300e à la 500e heure, une valeur *sensiblement constante*, pour chaque filament : ce qui indique qu'après 300 h, les coefficients angulaires des courbes de R_n et R_0 sont égaux, très sensiblement. D'ailleurs, cette valeur différant d'un filament à l'autre explique, dans une certaine mesure, les différences obtenues elles-mêmes pour les coefficients m et A, entre 2 lampes de même tension et de même intensité lumineuse. Ainsi, pour les 2 filaments de 32 bougies, fonctionnant sensiblement à la *même tension*, les valeurs comparées de $\frac{R_n}{R_0}$, avec la durée du fonctionnement, établissent la différence de structure de ces filaments, comme les coefficients m et A l'ont révélé eux-mêmes, par les tableaux (I) et (II).

VALEURS COMPARÉES DE $\frac{R_n}{R_0}$ APRÈS

		100 heures	230 heures	300 heures	400 heures	500 heures
32 bougies décimales.	A (115,5 v)	14,7	14,3	14,4	14,5	14,8
	A A (114 v)	14,9	14,6	14,8	14,8	14,8

ces valeurs tendant d'ailleurs *à se confondre*, au bout d'un certain temps.

Remarque. — La diminution de résistance R_n au début du fonctionnement, étant accusée par l'accroissement du courant I, à tension égale E, on pouvait se demander, *a priori*, si elle n'était qu'apparente, due, par exemple, à l'*effet Edison*; mais, dans ce cas, l'amincissement du filament corrélatif de l'électrovaporisation se révélerait par un *accroissement* de la résistance, à froid aussi bien qu'à chaud, du dit filament; et les mesures à froid montrent, précisément, que R_0 diminue elle-même, en même temps que R_n. Ce fait qui, pensons-nous, n'a pas encore été signalé, pourrait s'expliquer en observant que le métal, encore écroui à l'origine du fonctionnement des lampes, se modifie moléculairement par les recuits successifs et continus auxquels il est soumis; et ceci, d'autant plus vite qu'il est plus *survolté* ou plus gros (intensité lumineuse plus forte); sa résistivité diminuerait donc d'abord; tandis que, à la température du rouge blanc du tungstène (2 100°), la *force élastique*, assez élevée, de l'*argon*, retarderait beaucoup l'électrovaporisation; les effets de celle-ci ne sont pas encore visibles à la 500e heure. L'accroissement ultérieur de la résistance s'expliquerait peut-être par une cristallisation lente du métal, favorisée par les vibrations dues aux courants alternatifs.

H. Pécheux,
Docteur ès sciences, sous directeur de l'Ecole d'Arts et Métiers de Lille, Lauréat de l'Institut.

Digitized by Google

Revues, analyses et informations

Conditions à remplir lorsqu'on veut dans une installation hydraulique augmenter le débit, et par suite le travail sans modifier la conduite.

Sous ce titre, M. le comte de Sparre vient de communiquer à l'Académie des Sciences (1) une note que nous reproduisons intégralement ci-dessous :

Je suppose une conduite desservant une roue Pelton (2), la vitesse de l'eau dans la conduite, lorsqu'elle travaille à pleine charge, étant v_1 et celle de l'eau à la sortie du distributeur étant

$$v_0 = \sqrt{2g(H - J)},$$

où H est la hauteur de chute et J la perte de charge lorsque la vitesse de l'eau dans la conduite est v_1. On sait que, pour que le rendement soit maximum, il faut que la vitesse linéaire de la roue soit égale à $\frac{v_0}{2}$; je suppose cette condition réalisée et si alors s désigne la section de la conduite, le travail développé pendant l'unité de temps par la roue travaillant à pleine charge sera

$$\theta = s v_1 \lambda v_0^2, \tag{1}$$

où λ est un facteur constant.

Je suppose maintenant que l'on fasse desservir par cette même conduite, simultanément à la première, une seconde roue dont la vitesse linéaire est u'. La vitesse de l'eau dans la conduite deviendra v et la perte de charge $J\frac{v^n}{v_1^n}$ (3), le facteur n étant d'après Flamant égal à $\frac{7}{4}$, la vitesse de l'eau à la sortie des deux distributions sera alors

$$v'_0 = \sqrt{2g\left(H - \frac{Jv^n}{v_1^n}\right)}.$$

Les volumes d'eau débités pendant l'unité de temps par les distributeurs de l'ancienne roue et de la nouvelle seront, par suite, respectivement

$$s v_1 \frac{v'_0}{v_0} \quad \text{et} \quad s\left(v - v_1 \frac{v'_0}{v_0}\right),$$

et le travail T développé pendant l'unité de temps par l'ensemble des deux roues (4)

$$T = 4 s \lambda \left[v u' (v'_0 - u') + v_1 \frac{v'_0}{v_0} \left(\frac{v_0}{2} - u'\right)\left(v'_0 - \frac{v_0}{2} - u'\right)\right]. \tag{2}$$

Si l'on suppose v_0 et v'_0 donnés, cette expression sera maximum pour $u' = \frac{v'_0}{2}$, et, si l'on pose de plus

$$x = \left(\frac{J}{H}\right)^{\frac{1}{n}} \frac{v}{v_1}, \qquad a = \left(\frac{J}{H}\right)^{\frac{1}{n}}, \tag{3}$$

on aura, si $u' = \frac{v'_0}{2}$, pour T la valeur

$$T_m = \frac{2gH\lambda v_1}{a} s \gamma_m, \tag{4}$$

où

$$\gamma_m = x(1 - x^n) - a\sqrt{\frac{1 - x^n}{1 - a^n}}\left(\sqrt{1 - x^n} - \sqrt{1 - a^n}\right)^2.$$

Mais si, au lieu de prendre $u' = \frac{v'_0}{2}$, on prenait $u' = \frac{v_0}{2}$ ou $u' = v'_0 = \frac{v_0}{2}$, on aurait, pour T, la valeur

$$T_1 = \frac{2gH\lambda v_1}{a} s \gamma_1$$

avec

$$\gamma_1 = 2x\left[\sqrt{(1 - a^n)(1 - x^n)} - \frac{1 - a^n}{2}\right].$$

Si l'on développe γ_m et γ_1 suivant les puissances ascendantes de x et de a, on a

$$\gamma_m = x(1 - x^n) - a\frac{(a^n - x^n)^2}{4},$$

$$\gamma_1 = x(1 - x^n) - x\frac{(a^n - x^n)^2}{4}.$$

Or, d'une part, on a $a < x$, et, comme nous le verrons, on doit pratiquement supposer $x \leqq 0{,}2$. On en conclut qu'on peut, en pratique, négliger les termes $\frac{a(a^n - x^n)^2}{4}$ et $\frac{x(a^n - x^n)^2}{4}$ et prendre par suite

$$\gamma_m = \gamma_1 = \gamma,$$

avec

$$\gamma = x(1 - x^n). \tag{5}$$

On conclut d'abord de là que l'on peut, pour la vitesse linéaire de la seconde roue, prendre une valeur quelconque comprise entre $\frac{v_0}{2}$ et $v'_0 - \frac{v_0}{2}$.

La valeur (5) de γ est maxima pour $x^n = \frac{1}{n+1}$ et la valeur correspondante de γ est

$$Y = \left(\frac{1}{n+1}\right)^{\frac{1}{n}} \frac{n}{n+1}.$$

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 31 mars 1919, t. CLXVIII, p. 663-666.

(2) Ce qui suit s'applique d'ailleurs presque sans changements au cas d'une turbine *sans réaction* quelconque.

(3) FLAMANT. *Hydraulique*, 3e édition, p. 152. Les formules s'appliqueraient d'ailleurs si l'on prenait pour n une autre valeur.

(4) Le travail développé par une roue lorsque sa vitesse linéaire u est quelconque est, en effet

$$4 s v_1 \lambda u (v_0 - u).$$

Digitized by Google

Toutefois, en pratique, il ne faut pas prendre pour x la valeur $x = \left(\frac{1}{n+1}\right)^{\frac{1}{n}}$ qui fait prendre à y la valeur Y, mais une valeur faisant prendre à y une valeur différente de Y d'une fraction suffisamment petite (1).

Nous poserons alors, ε ayant la valeur (5)

$$x^n = \frac{1}{n+1} - \varepsilon,$$

$$y = Y\left(1 - \frac{1}{p}\right) = \frac{n}{n+1}\left(\frac{1}{n+1}\right)^{\frac{1}{n}}\left(1 - \frac{1}{p}\right).$$

Nous en déduirons, en négligeant les termes en ε^3,

$$\varepsilon^2 = \frac{1}{p}\,\frac{2n^2}{(n+1)^3},$$

d'où

$$\varepsilon = \frac{n}{n+1}\sqrt{\frac{2}{(n+1)p}},$$

$$x^n = \frac{1}{n+1}\left(1 - n\sqrt{\frac{2}{(n+1)p}}\right).$$

Si nous prenons $p = 10$ et, conformément aux données de Flamant, $n = \frac{7}{4}$, nous trouverons $x^n = 0{,}1\,957$, soit en nombres ronds $x^n = 0{,}2 = \frac{1}{5}$.

Or x^n est le rapport de la perte de charge à la charge. On pourra donc augmenter la vitesse dans la conduite jusqu'à ce que la perte de charge devienne égale au cinquième environ de la charge (2), mais il n'y aura pas lieu d'aller plus loin. Si en effet on adoptait pour x^n la valeur

$$\frac{1}{n+1} = \frac{4}{11} = \frac{1}{2{,}75},$$

soit une perte de charge presque double de la précédente, on augmenterait le travail de moins de 11 pour 100. Si l'on suppose que, pour la première roue marchant seule, la perte de charge soit de 5 pour 100 de la charge, donc $a_n = 0{,}05$, en prenant $x^n = 0{,}2$ on aurait $v = \frac{xv_1}{a} = 2{,}21\,v_1$, et, en prenant au lieu de cela $x^n = \frac{4}{11}$, on trouverait $v = 3{,}11\,v_1$. On voit donc qu'une augmentation du débit de 41 pour 100 ne produirait une augmentation du travail que de 11 pour 100.

(1) Y étant en effet maximum pour y, une variation assez notable de x n'en donnera qu'une très faible pour y, on pourra donc réduire notablement le débit tout en diminuant fort peu le travail.

(2) On sait qu'au point de vue du coup de bélier l'augmentation de la vitesse de l'eau dans la conduite ne présente aucun inconvénient si la durée de la fermeture totale est inférieure à une période d'oscillation de l'eau et que l'on conserve une même vitesse de fermeture linéaire.

Énergie de l'émission des rayons X caractéristiques par le molybdène et le palladium en fonction de la tension appliquée (1).

L'auteur s'est proposé d'étudier la relation entre l'énergie des raies des séries K du molybdène et du palladium et la tension qui les produit.

Le spectromètre utilisé ressemble dans ses grandes lignes à celui dont s'est servi Clayton Ulrey (*Phys. Rev.*, mai 1918) dans ses recherches sur le rayonnement général. Les tensions sont mesurées au moyen d'un voltmètre électrostatique et l'énergie fournie aux tubes à rayon X provient d'une installation de kenotrons redresseurs. Pour chaque métal, le rayonnement α et β apparaît sous une certaine tension, qui est de 19,2 kv pour le molybdène et de 24 kv pour le palladium. Dans le cas du molybdène, cette tension critique est presque exactement celle que demande l'équation de Planck pour expliquer la production de la raie β Dans le cas du palladium, cette tension critique est celle requise dans la même hypothèse pour produire une raie de longueur d'onde légèrement inférieure à celle de la raie β.

L'auteur a tracé des courbes en portant en abscisses le carré de la tension et en ordonnées les intensités des raies α et β pour les deux métaux; ces courbes montrent que les intensités des raies varient proportionnellement au carré de la tension pour des tensions qui ne sont pas trop voisines de la tension critique. Le rapport des intensités des raies α et β demeure constant, pour chaque métal, quand on fait croître la tension. Les parties rectilignes de ces courbes, prolongées, coupent l'axe des tensions au même point. Le rapport des tensions correspondantes pour deux métaux est égal au rapport des tensions critiques et au rapport des carrés des nombres atomiques.

L'auteur a déterminé les coefficients d'absorption pour les raies α et β du molybdène et du palladium dans le verre, dans le molybdène et dans le palladium. Ces coefficients varient sensiblement comme le cube de la longueur d'onde. En appliquant une théorie de M. Bergen Davis, l'auteur a calculé le rapport des intensités des rayonnements α et β en supposant qu'ils sont émis par un seul atome. Les courbes qui représentent l'équation théorique sont en excellent accord avec les courbes expérimentales.

A. B.

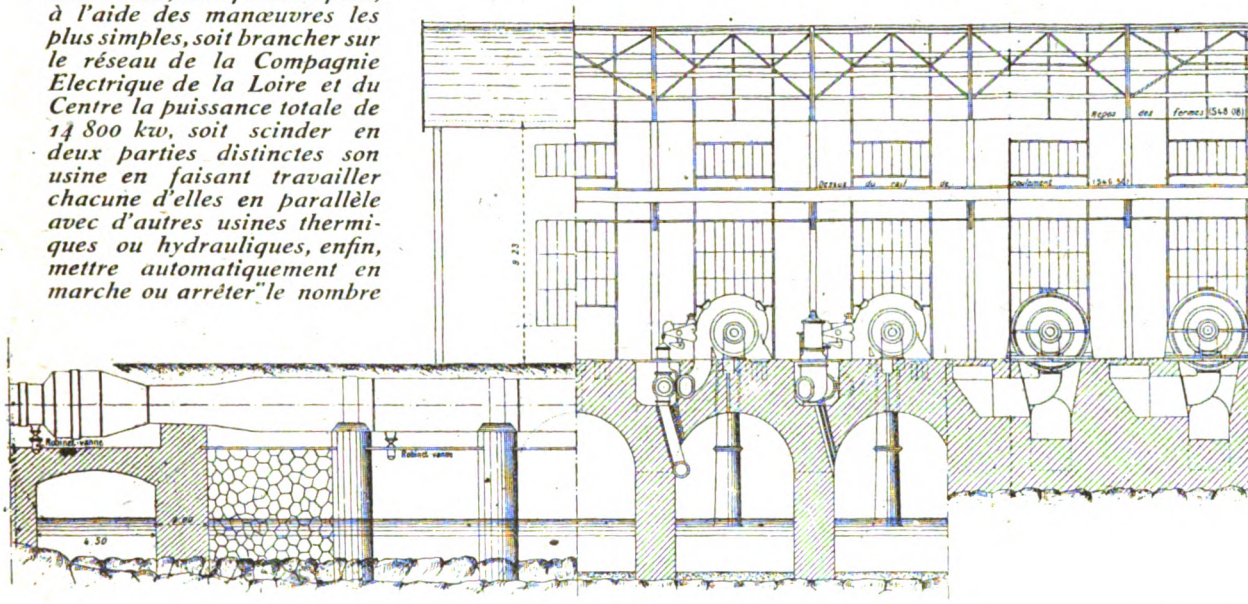
(1) Benjamin-Allen Wooten. *Physical Review*, janvier 1919, t. XIII, p. 71-86, 5 600 mots, 5 fig., 3 tab.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

L'usine hydro-électrique de l'Ance de la Compagnie électrique de la Loire et du Centre (*Suite et fin*)

La caractéristique de l'équipement électrique de l'usine de l'Ance, dont nous avons décrit les travaux dans le précédent numéro, est l'extrême clarté de sa conception ; de la tribune de commande, le chef d'usine peut, à l'aide des manœuvres les plus simples, soit brancher sur le réseau de la Compagnie Electrique de la Loire et du Centre la puissance totale de 14 800 kw, soit scinder en deux parties distinctes son usine en faisant travailler chacune d'elles en parallèle avec d'autres usines thermiques ou hydrauliques, enfin, mettre automatiquement en marche ou arrêter le nombre de groupes nécessaires à la demande du réseau. La même logique se trouve dans la disposition de tout l'appareillage, ce qui fait de cette centrale une usine modèle par l'harmonie de ses proportions et de sa disposition.



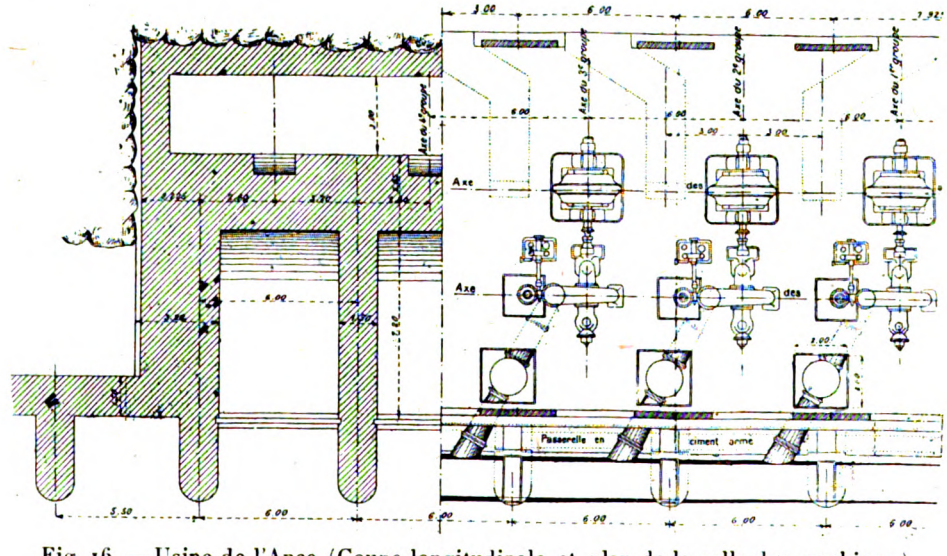


Fig. 16. — Usine de l'Ance. (Coupe longitudinale et plan de la salle des machines.)

Service électrique.- GROUPES GÉNÉRATEURS. — La puissance installée actuellement à l'usine de l'Ance (fig. 16 et 18) est de 14 800 ch fournis par quatre groupes turbo-alternateurs composés chacun d'une turbine hydraulique de 3 700 ch de la Société anonyme de Construction mécanique Escher, Wyss et Cie (1), accouplée directement à un alternateur de 3 600 kv-a de la Compagnie Electro-Mécanique. Un cinquième groupe identique aux précédents a été récemment commandé,

(1) Voir *La Lumière électrique* du 10 juillet 1915.

Digitized by Google

et doit être installé prochainement de façon à porter la puissance de l'usine à 18 500 ch. Chaque turbine est construite pour les données suivantes :

Chute nette en mètres		140	
Débit en litres par seconde		2 500	
Puissance en chevaux		3 700	
Vitesse en tours par minute		600	
Diamètre de la roue mobile en millimètres		1 100	
Diamètre de la tubulure d'entrée en millimètres		650	
Diamètre des coudes de succion en millimètres		580	
Rendements garantis en centièmes	79	80	75
Pour ouverture de	4/4	3/4	1/2
Le réglage automatique de la vitesse est garanti avec une variation maximum en centièmes de	3	6	16
A partir de la vitesse d'équilibre après la variation de charge, ceci pour les décharges brusques en centièmes de	25	50	100

et à condition que l'alternateur possède un $P\,D^2$ de 14 000 kg-m² et en admettant que la centrale soit alimentée par deux conduites parallèles de 1 500 mm de diamètre intérieur chacune et de 247 m de longueur.

Turbines. — Chaque turbine actionne directement un alternateur de même puissance par accouplement rigide formé par des plateaux venus de forge, à l'extrémité des deux arbres et boulonnés ensemble.

Chacune d'elles possède comme accessoires principaux :

Un robinet-vanne de 750 mm de diamètre avec bypass de 125 mm de diamètre intérieur. Le robinet-vanne principal est commandé par servomoteur hydraulique utilisant la pression naturelle de la chute;

Un régulateur automatique de vitesse à pression d'huile;

Un régulateur de pression, éliminant

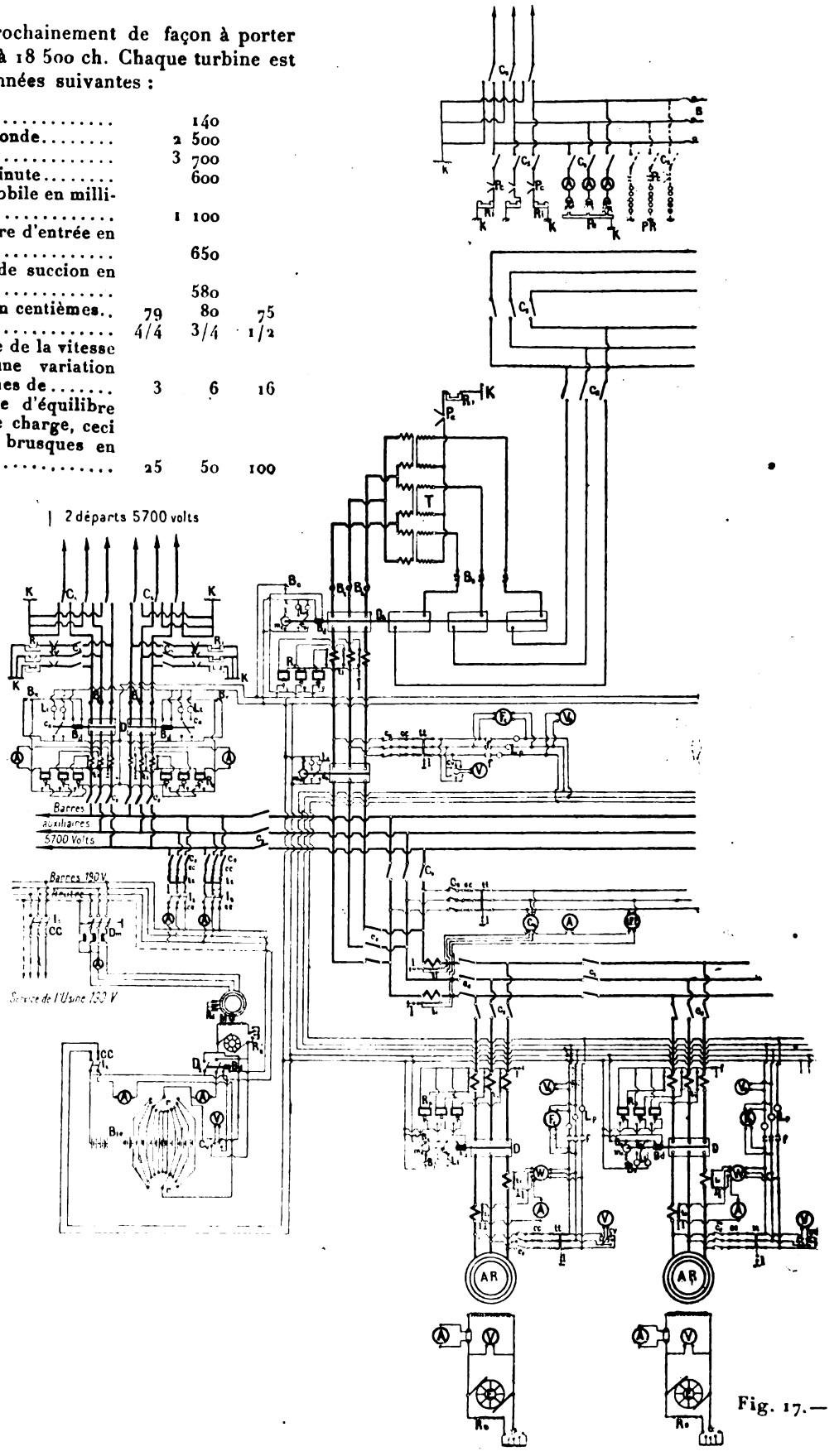


Fig. 17.—

Digitized by Google

les coups de bélier sur les conduites en cas de décharges brusques de la turbine. Son fonctionnement est le suivant : un orifice compensateur s'ouvre en cas de décharges brusques de la turbine, laissant par suite échapper autant d'eau qu'il vient d'en être momentanément intercepté au distributeur de la turbine, puis se referme automatiquement, suffisamment lentement pour éviter toute surpression dangereuse. Cet appareil se compose d'une vanne équilibrée, commandée depuis le régulateur de vitesse par l'intermédiaire d'un servo-moteur utilisant la pression naturelle dans la conduite, l'eau étant préalablement filtrée. Un dashpot, intercalé sur le mécanisme de commande, pourvoit à l'immobilisation de l'orifice-compensateur en cas de variations de charges lentes ou en cas de charges brusques de la turbine.

Les appareils de contrôle se composent d'un tachymètre (indicateur de vitesse) et de deux vacuomètres placés sur les deux coudes d'aspiration.

Les turbines sont du système spirale double.

La bâche, en forme de spirale, est en fonte ; son diamètre d'entrée est de 650 mm. Le distributeur est muni de directrices mobiles en acier moulé avec commande extérieure, permettant de mettre toutes les pièces mobiles du mécanisme de réglage à l'extérieur de la bâche et à l'abri de l'usure de l'eau. Ce

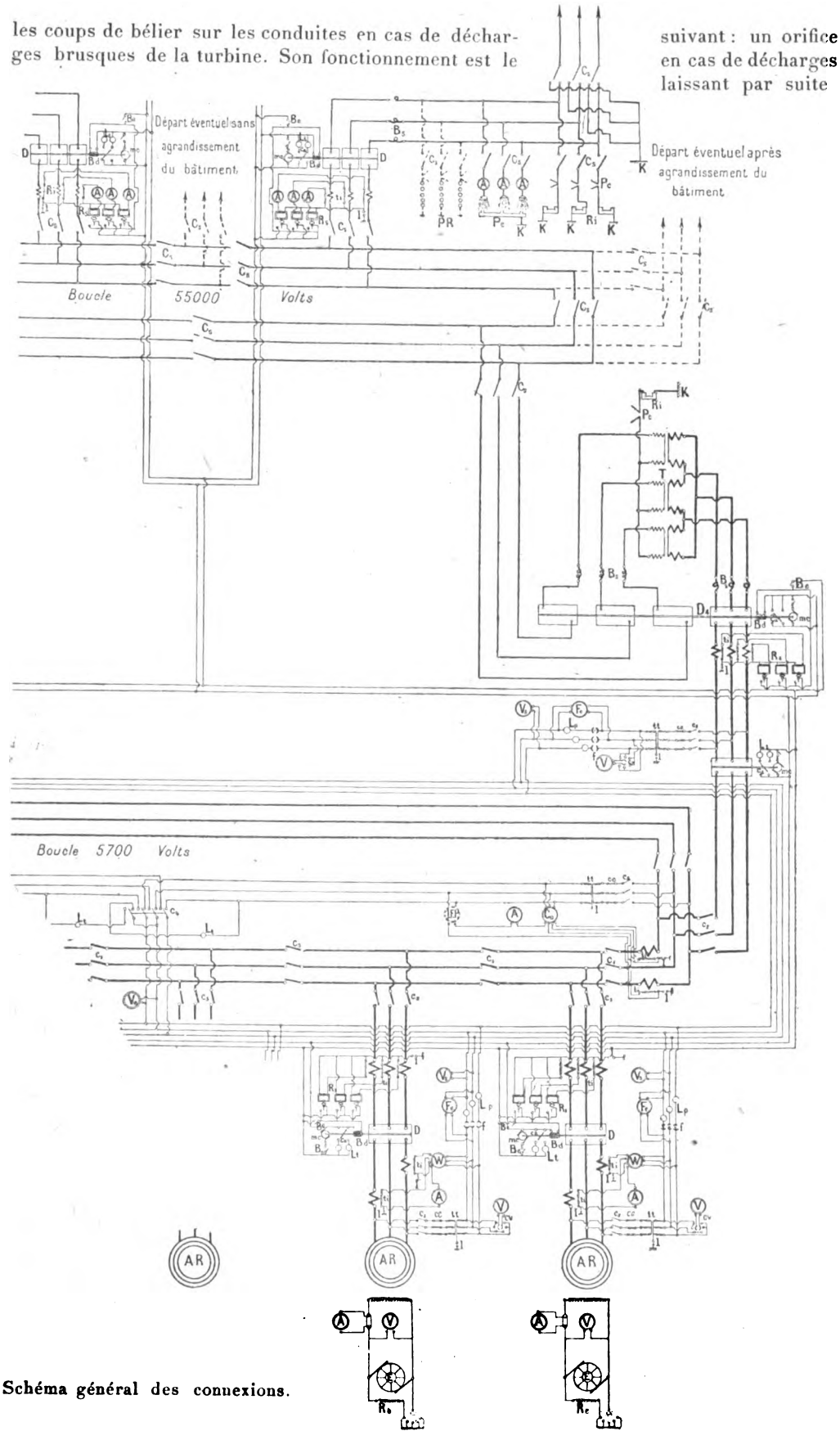


Schéma général des connexions.

Digitized by Google

distributeur est muni d'anneaux interchangeables en acier forgé.

La roue mobile est coulée d'une seule pièce; elle est en bronze spécial, afin de résister à l'usure que pourrait produire la vitesse excessive de l'eau, ainsi qu'à la tension élevée par suite de la grande vitesse périphérique.

Les deux joues latérales de l'aubage sont combinées avec les tambours d'équilibrage hydrauliques de la poussée axiale.

L'arbre est en acier Siemens Martin; il est supporté par deux paliers-consoles autograisseurs fixés au coude d'aspiration.

Le palier de butée final est combiné avec une circulation d'eau refroidissant l'arbre, évidé à son intérieur.

Alternateurs. — Les alternateurs de la Compagnie Electro-Mécanique sont à axe horizontal à deux paliers, triphasés, 5 700/6 000 v, 50 p : sec, tournant à la vitesse de 600 t : min, pouvant donner une puissance aux bornes de 3 600 kv-A pour cos $\varphi = 0{,}7$, ce qui correspond à 1/1 charge à une intensité de 364 A. Leur PD^2 est de 14 000 kg-m². L'excitation est fournie sous 110 à 115 v par une excitatrice montée en bout d'arbre d'une puissance de 31 kw.

Le rhéostat de champ et les électros sont prévus pour permettre :

1° De régler à vide la tension de 3 000 à 6 300 v, la variation d'un plot à un autre étant au maximum de 50 v;

2° En charge, c'est-à-dire 3 600 kv-A, et avec 10 pour 100 de surcharge, d'obtenir 6 000 v, le facteur de puissance étant de 0,7;

3° De marcher, pendant douze heures, avec une intensité d'excitation supérieure de 15 pour 100 au régime nécessaire pour avoir, à 1/1 charge, 5 700 v avec cos $\varphi = 0{,}7$.

La variation de tension de 1/1 charge à la marche à vide est

Pour cos $\varphi = 1$ .... 10 pour 100
Pour cos $\varphi = 0{,}7$............. 30 id.

Le tableau I donne le résultat des essais de l'un des groupes effectués à l'usine de l'Ance le 29 juin 1917, les rendements des turbines étant calculés en tenant compte des essais des alternateurs dans les usines du constructeur, la puissance dépensée en excitation n'étant pas comprise dans les rendements donnés.

L'emballement maximum garanti par le constructeur est, pour une variation de charge de

25 pour 100 .... de 3 pour 100
50 id. .... de 6 id.
100 id. .... de 16 id.

Un essai d'emballement du groupe a été fait dans les conditions suivantes : l'alternateur étant en surcharge de 25 pour 100 (3 300 kw) la surcharge a été coupée instantanément, ce qui correspondait à une variation de 125 pour 100. La turbine a atteint la vitesse de

TABLEAU I. — *Essais des turbines hydrauliques et alternateurs de l'usine de l'Ance.*

DÉSIGNATION — PUISSANCE FOURNIE PAR LA CHUTE

Numéro de l'essai	Charge rapportée à la turbine	Heures des lectures	Débit en litres par sec. : $m = \left[0{,}405 + \frac{q}{0{,}011}\right]\left[1 + 0{,}55\, l^2 \frac{q}{q+p}\right]$	l = base moyenne section lame déversante décomposée en trapèzes en mètres	h lu sur échelle (en mètres)	Débit $Q = m\,l\,h\sqrt{2gh}$ en l : sec.	Chute en mètres : Pression amont (en mètres d'eau)	Dépression aval (en mètres d'eau)	Chute efficace (en mètres)	Puissance : Kilogrammètres : sec	Chevaux-vapeur
1	[illegible]	10h5-10-15	0,415	0,30	4,495	1 360	136	5,4	141,4	192 300	2 560
2	[illegible]	10h20-25-30	0,413	0,36	4,485	1 770	136,4	5,3	139,4	247 000	3 290
3	4/4	10h50-55-11h	0,412	0,43	4,474	2 280	134	5,25	139,25	318 000	4 245
4	5/4	11h5-10-15	0,411	0,32	5,440	3 030	132	5,2	137,2	416 000	5 540

PUISSANCE DÉVELOPPÉE PAR LA TURBINE

Numéro de l'essai	Puissance absorbée par l'alternateur : Volts	Ampères	Kilowatts	Cos φ	Rendements correspondants du cahier des charges	Kw absorbés	Ch absorbés	Absorbée par l'excitation : Volts	Ampères	Kilowatts	Rendement du cahier des charges en centièmes	Kw. absorbés	Ch absorbés
1	5 900	182	1 271	0,685	90	1 412	1 918	47	185	8,7	85	10,25	13,9
2	5 921	207	1 921	0,700	92,5	2 077	2 819	56,3	195	13	85	15,3	20,8
3	6 027	353	2 556	0,692	93,5	2 731	3 721	68,3	238	16,25	85	19,15	20
4	5 955	340	3 306	0,943	95,5	3 643	4 703	53,6	170	9,25	85	11,3	15,35

RENDEMENTS

Numéro de l'essai	Puissance : Développée par la turbine (en chevaux)	Fournie par la chute (en chevaux)	Rendements : Turbines (en centièmes)	Alternateur excitation comprise (en centièmes)	Global vrai (en centièmes)	Global garanti (en centièmes)
1	1 922	2 560	57,2	89,2	67	67,5
2	2 840	3 290	86,5	92,3	80	74
3	3 747	4 245	88,4	93	82	73,8
4	4 723	5 540	85,5	94,8	81	»

Digitized by Google

760 t : min, soit une augmentation de vitesse de 26,6 pour 100. En construisant la courbe d'emballement, on constate que l'emballement à pleine charge est de 16 pour 100.

Transformateurs. — Les transformateurs sont du type monophasé, à bain d'huile et à circulation d'eau, de 3 000 kw, fournis par la Société l'Éclairage Électrique.

Ces appareils sont prévus pour fonctionner avec un facteur de puissance égal à 0,7 et une fréquence de 50 p : sec. Un indicateur et un repère permettent de se rendre compte que le niveau de l'huile atteint bien la hauteur voulue. Les transformateurs sont munis de galets de roulement.

Les garanties de fonctionnement données par la Société l'Éclairage Électrique sont les suivantes :

Rendement pleine charge.	$\cos \varphi = 1$ ...	98,8 pour 100
	$\cos \varphi = 0,7$...	98,8 id.
Rendement demi-charge.	$\cos \varphi = 1$ ...	98,2 pour 100
	$\cos \varphi = 0,7$. .	98,2 id.

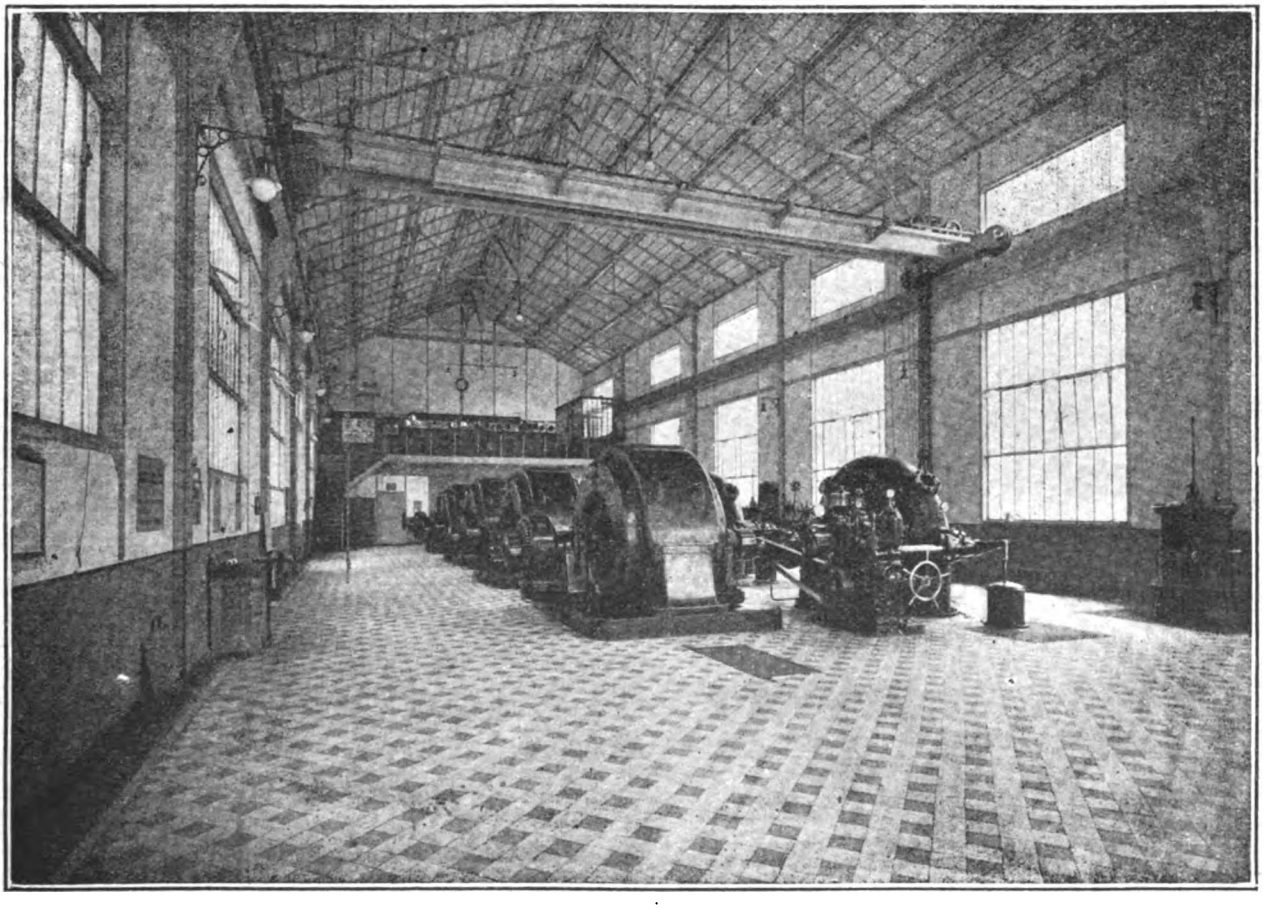


Fig. 18. — Usine de l'Ance. (Salle des machines.)

Les rendements ont été mesurés aux essais par la méthode des pertes séparées.

Chute de tension de la pleine charge à vide :

$\cos \varphi = 1$	0,8 pour 100
$\cos \varphi = 0,7$.....	5,5 id.

La dépense à vide de chaque transformateur a été prévue au maximum de 16 kw. La température de l'huile mesurée à la partie supérieure ne dépasse pas 50° au-dessus de la température de l'entrée de l'eau dans le serpentin à la suite d'une marche indéfinie à pleine charge.

Les transformateurs peuvent supporter sans danger une surcharge de 26 pour 100 pendant deux heures ou de 50 pour 100 pendant une demi-heure. Les isolements secondaires (connectés en triangles à 35 800 v) ont été essayés à la masse par l'application (dans les usines du constructeur) d'une tension alternative de 90 000 v pendant cinq minutes entre conducteurs et masse. Les enroulements primaires (5 700 v) ont été essayés pendant le même temps par l'application, dans les mêmes conditions, d'une tension alternative de 12 000 v.

La Société l'Éclairage Électrique a garanti de plus, de la façon la plus formelle, que l'usine de l'Ance équipée avec ces transformateurs pourrait fonctionner en parallèle à toutes charges, soit pour une tension de 31 800 v,

Digitized by Google

soit à la tension de 55000 v avec toutes les autres usines de la Compagnie Électrique de la Loire et du Centre fonctionnant à l'une de ces tensions quels que soient les transformateurs installés dans ces usines et les connexions de ceux-ci.

Toutes ces garanties de bon fonctionnement ont été tenues depuis la mise en marche de l'usine d'une façon parfaite.

Appareillage. — Il est capital de rappeler avant plus ample description que toutes les manœuvres se

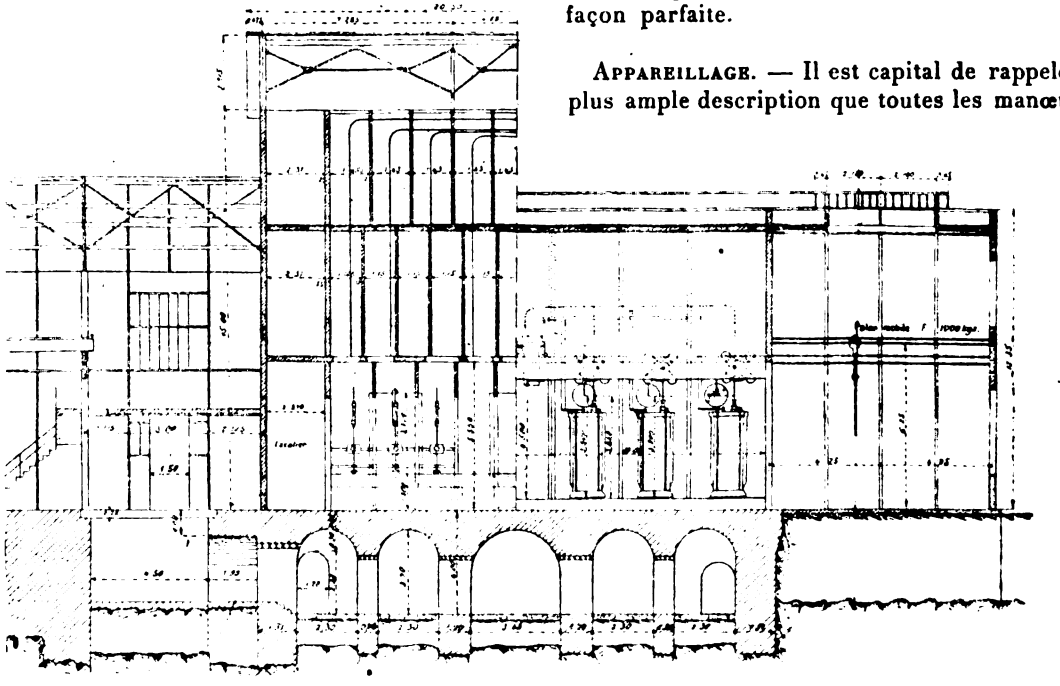


Fig. 19. — Coupe longitudinale du bâtiment de l'appareillage.

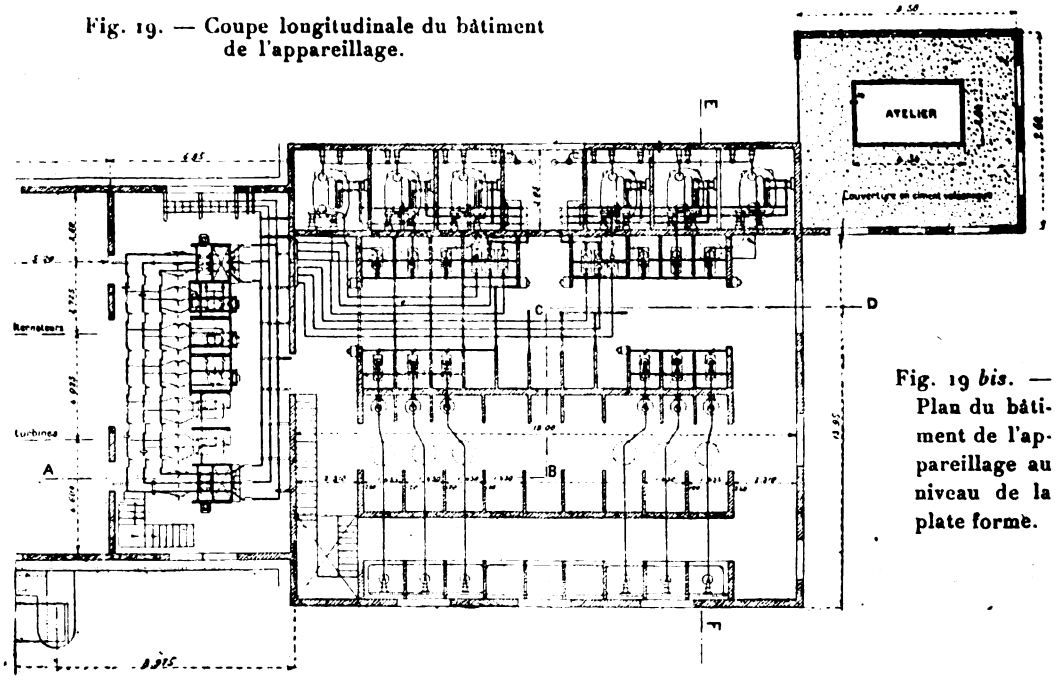


Fig. 19 *bis*. — Plan du bâtiment de l'appareillage au niveau de la plate forme.

font des pupitres et tableau par des commandes à distance actionnées par le courant d'une batterie d'accumulateurs spéciale, et qu'en outre la position exacte de tous les disjoncteurs et interrupteurs est très nettement marquée par des signaux spéciaux qui sont de deux sortes :

a) Signaux optiques (lampes témoin de couleurs différentes) ;

b) Signaux acoustiques (sonneries),

de telle façon que, lors d'un déclanchement, l'attention est immédiatement fixée au personnel surveillant.

Ces préliminaires établis, nous abordons maintenant

Digitized by Google

la description du montage électrique. Nous présentons l'exposé qui suit dans l'ordre qu'il occupe en partant des alternateurs (fig. 17, 19 et 19 bis).

Galerie des barres à 5700 v. — Cette galerie est située en-dessous du plancher de la salle des machines. Elle renferme les barres à 5700 v en cuivre nu se raccordant à chaque alternateur. Ces barres sont soutenues par des isolateurs porcelaine fixés sur des ferrures spé-

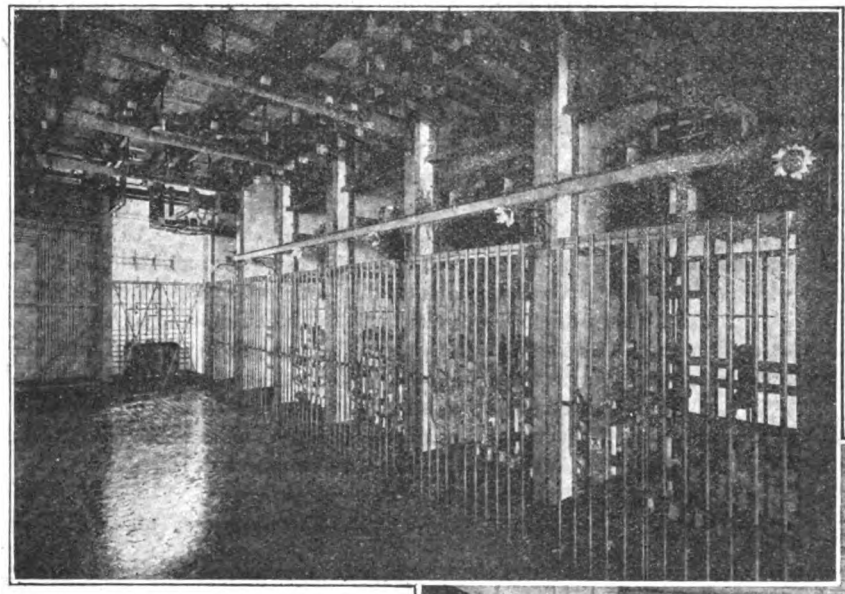


Fig. 20. — Usine de l'Ance. (Salle de la boucle.)

cialement étudiées à cet effet. La disposition des barres est telle qu'elles sont efficacement protégées contre toute atteinte du personnel.

De chaque alternateur partent :

1° 3 barres à 5700 v ;

2° 3 fils pour commande du régulateur de vitesse de la turbine ;

3° 2 fils pour le rhéostat d'excitation ;

4° 2 fils pour la tension d'excitation ;

5° 2 fils du shunt de l'ampèremètre donnant le débit total de l'excitation.

Tous les fils de 2° à 5° sont à enveloppe isolante et guidés dans la galerie par des poulies en porcelaine fixées sur des ferrures métalliques scellées dans les piédroits de la voûte. Les barres à 5700 v et les fils de service sont disposés de telle façon que, pour chaque alternateur, la série des conducteurs qui en part se distingue très facilement de ses homologues des autres machines.

Les barres à 5700 v arrivent sous le plancher de la salle renfermant la boucle, plancher qu'elles traversent par des ouvertures desservant chacune une cellule isolée de ses voisines par des cloisons isolantes en maçonnerie de 120 mm d'épaisseur. Ces cellules ont 1,28 m de largeur sur 1,50 m de profondeur et sont ouvertes sur chacune de leurs faces avant et arrière.

Salle de la boucle 5700 v. — La salle de la boucle (fig. 20) possède donc autant de cellules que d'alternateurs, plus deux cellules recevant chacune l'interrupteur de mise en parallèle, soit en tout sept cellules.

Dans chacune des cellules correspondant à un alternateur, on trouve :

1° Deux transformateurs d'intensité commandant un ampèremètre et un wattmètre ;

2° Un transformateur de tension tripolaire branché en dérivation sur les barres à 5700 v et protégé par trois sectionneurs et trois coupe-circuit ; ce transformateur de potentiel alimente un voltmètre par

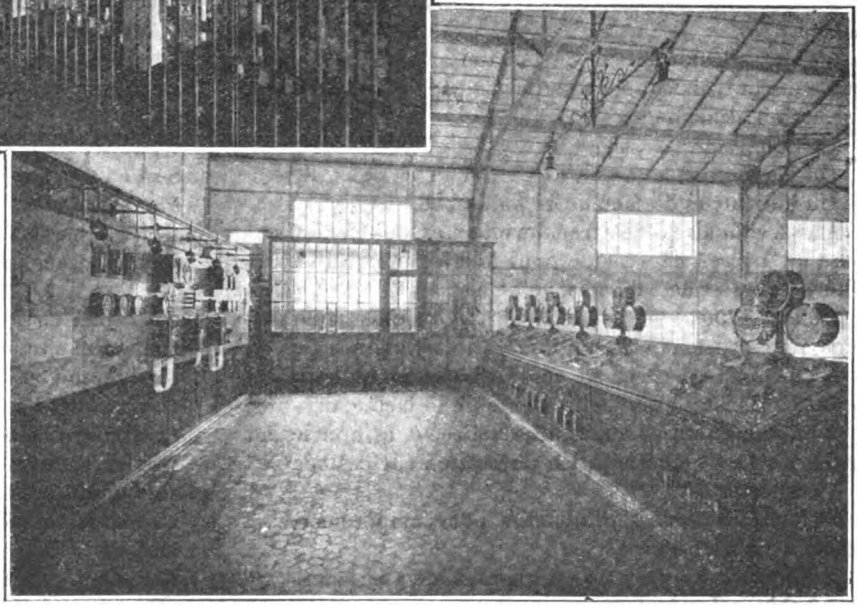


Fig. 21. — Usine de l'Ance. (Pupitres et tableau de commande.)

l'intermédiaire d'un commutateur à trois directions permettant la lecture de la tension sur toutes les phases : de plus, ce transformateur de tension est relié au fréquencemètre, au voltmètre de synchronisation et aux fiches de couplage commandant les lampes de mise en parallèle (feux tournants) ;

3° Trois transformateurs d'intensité servant à alimenter les relais à action différée du disjoncteur ;

4° Un disjoncteur mû par commande à distance et relié à la boucle 5700 v par trois couteaux de sectionnement.

Digitized by Google

La boucle 5 700 v est une boucle complète et, sur cette dernière, les alimentations des alternateurs peuvent être isolées par la manœuvre de trois couteaux à serrage excentrique, dispositif nécessaire pour assurer un contact parfait (2 000 A).

Une dérivation de trois barres de la boucle alimente les services auxiliaires de l'usine que nous détaillerons plus loin.

De chaque côté de la boucle se trouve en dérivation, dans une cellule spéciale, un interrupteur de mise en parallèle permettant de coupler un départ à 55 000 v quelconque sur la boucle à 5 700 v à travers un groupe de transformateurs à 5 700 v — 55 000 v.

La commande de ces deux interrupteurs est assurée à distance. On voit donc que, si l'on coupe la boucle à 5 700 v en son milieu, le fonctionnement est assuré avec une indépendance absolue, ce qui permet la mise en parallèle avec d'autres sources d'énergie semblables. Ceci permet de faire marcher l'usine de l'Ance en parallèle avec d'autres usines et on peut la coupler en totalité sur le réseau.

Aux deux extrémités de la boucle, de part et d'autre de la dérivation alimentant les interrupteurs de mise en parallèle, sont installés :

1° Deux transformateurs d'intensité (sur la boucle même);

2° Un transformateur de tension protégé par trois couteaux et trois coupe-circuits. Ces appareils de transformation alimentent :

Un compteur.

Un ampèremètre.

Un indicateur de facteur de puissance.

Les secondaires des transformateurs de tension servent de barres de tension pour la mise en parallèle des alternateurs et des départs.

Départ 5 700 v. — Un départ 5 700 v a été mis en service pour desservir les agglomérations voisines.

Ce départ est pris en dérivation sur la boucle à 5 700 v. L'installation se présente de la façon suivante :

3 barres omnibus auxiliaires reliées à la boucle par trois couteaux généraux. En dérivation sur ces barres :

3 couteaux.

3 transformateurs d'intensité pour ampèremètre et relais à action différée.

1 disjoncteur automatique (commande à la main).

3 bobines de réactance.

3 sectionneurs commandant le départ.

3 parafoudres à cornes avec résistances liquides dérivées dans le prolongement du départ par trois couteaux.

Le départ à 5 700 v peut être mis à la terre par trois couteaux spéciaux en cas de réparations.

Il alimente un poste de transformation 5 700/190 v, installé au barrage pour la commande des vannes.

Service auxiliaire de l'usine. — Installé pour alimenter :

1° Le réseau d'éclairage et de force motrice de l'usine;

2° Un groupe moteur asynchrone-dynamo servant à la charge d'une batterie d'accumulateurs.

Si nous nous reportons aux barres-omnibus auxiliaires alimentant le départ 5 700 v, nous voyons une dérivation commandée par couteaux et coupe-circuit alimenter deux transformateurs triphasés à 5 700/190 v, dont les secondaires sont reliés aux barres basse tension par l'intermédiaire d'interrupteurs tripolaires et coupe-circuits.

Une première dérivation alimente le circuit à 190 v de l'usine. La seconde dérivation, passant par un disjoncteur automatique à maximum de courant et à minimum de tension, assure le fonctionnement du groupe de charge d'une batterie d'accumulateurs installé au premier étage du poste pour desservir toutes les commandes à distance ainsi que l'éclairage de secours de l'usine.

Pupitres — *Tableau de commande.* — Au-dessus de la boucle 5 700 v, une large estrade communiquant avec le niveau de la salle des machines par deux escaliers supporte les pupitres et le tableau de commande.

Cette estrade située à 3,53 m au-dessus du plancher des groupes turbo-alternateurs est telle que l'on embrasse facilement l'ensemble de toute la salle des machines.

Au premier plan, c'est-à-dire sur le bord de l'estrade, sont disposés les pupitres comme suit (fig. 21) :

1 pupitre pour chaque machine;

1 pupitre pour chaque interrupteur de mise en parallèle;

1 pupitre en réserve.

Soit au total huit pupitres.

Pupitres des machines. — Nous n'en décrirons qu'un seul, les autres étant identiques.

a) Sur le marbre incliné formant la tablette supérieure sont :

1 wattmètre triphasé à champ tournant;

1 ampèremètre de l'intensité totale;

1 ampèremètre d'excitation;

1 voltmètre d'excitation;

1 voltmètre de la machine avec commutateur bipolaire à trois directions pour prendre la tension entre deux phases quelconques;

1 appareil de commande à distance du régulateur de la turbine;

Rappelons que chaque régulateur de turbine est commandé par un petit moteur à courant continu que l'on actionne du pupitre; on peut donc, de ce dernier, régler la vitesse de la turbine.

1 fiche tripolaire de synchronisation.

b) Sur une colonne placée en avant du marbre supérieur :

1 fréquencemètre double à anche;

1 voltmètre de couplage;

1 feu tournant à deux faces de façon que son fonctionnement puisse être vu d'un point quelconque de la salle des machines.

c) Sur la face verticale côté intérieur de l'estrade :

1 volant du rhéostat d'excitation;

3 relais unipolaires.

Digitized by Google

d) Sur la face verticale côté machines :

1 porte à deux battants pour la visite intérieure des connexions du pupitre.

Pupitres de couplage des départs. — Ils comportent chacun.

a) Sur le marbre incliné supérieur :

1 voltmètre indiquant la tension de départ, avec commutateur bipolaire à 3 directions ;

1 appareil de commande à distance de l'interrupteur de couplage avec lampes rouge et verte ;

1 fiche tripolaire de couplage ;

1 appareil de commande à distance des disjoncteurs du groupe transformateur 5 700/55 000 v correspondant.

Pour le reste, ces pupitres sont identiques à ceux des machines.

Tableau. — A) Au fond de l'estrade un panneau central en marbre porte :

1 commutateur tripolaire à deux directions permettant d'alimenter les barres basse tension de mise en parallèle par l'un ou l'autre des transformateurs triphasés de potentiel se trouvant à chaque extrémité de la boucle 5 700 v de façon à pouvoir mettre en parallèle les alternateurs avec un des départs quelconques, un plot spécial alimente deux lampes pour indiquer la position de ce commutateur ;

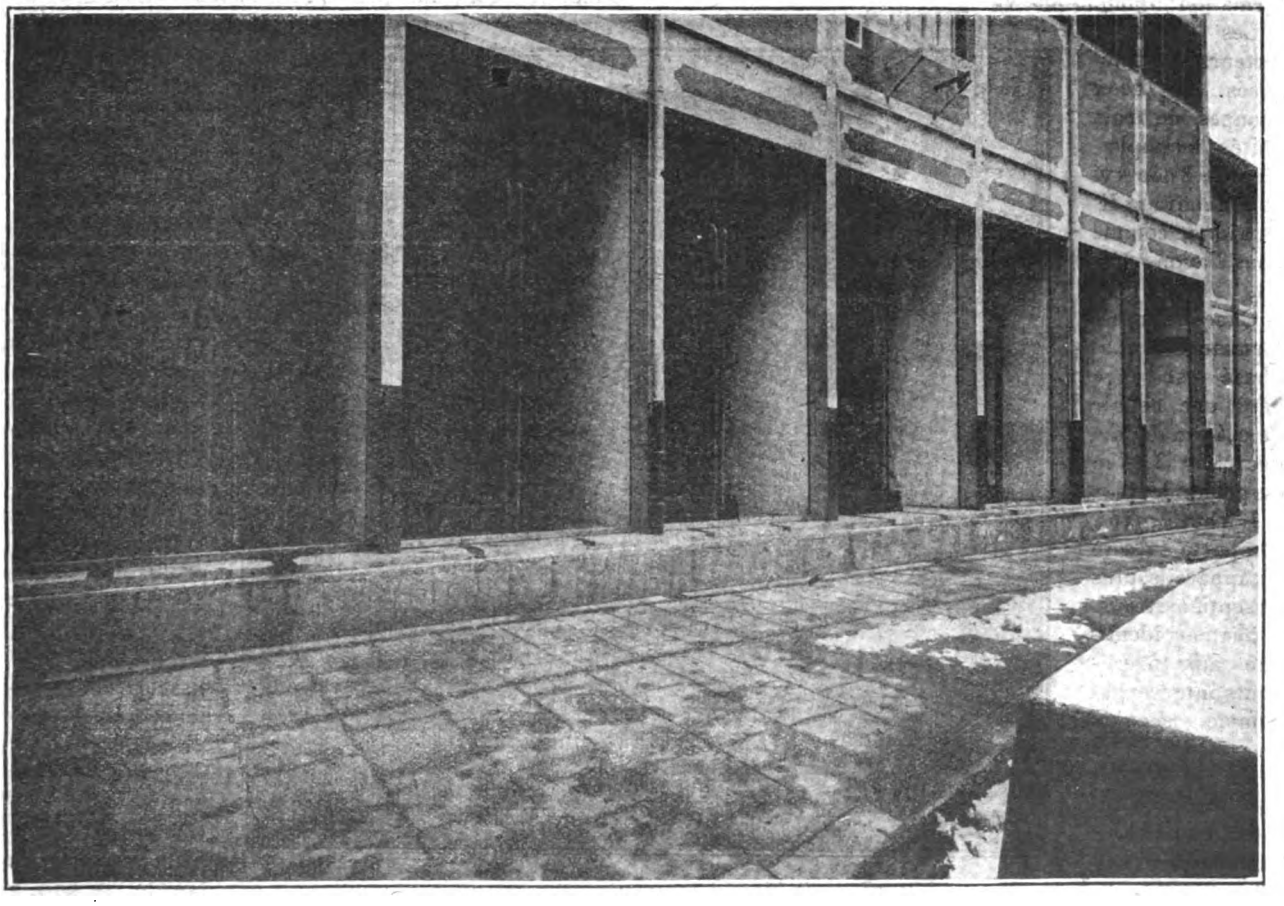


Fig. 22. — Usine de l'Ance. (Cellules des transformateurs de l'Éclairage Électrique.)

1 voltmètre enregistreur ;

1 phasemètre.

B) De part et d'autre du panneau central un tableau portant :

1 compteur général ;

1 ampèremètre totalisateur ;

1 wattmètre enregistreur.

Ces appareils sont alimentés par les transformateurs d'intensité et de tension situés aux deux extrémités de de la boucle 5 700 v.

C) Un panneau de départ 55 000 v comportant :

1 appareil de commande à distance du disjoncteur avec lampe indicatrice de position ;

3 ampèremètres ;

3 relais unipolaires de disjoncteur.

Sur chaque circuit de relais se trouve une résistance réglable permettant de modifier la sensibilité de l'appareil dans le rapport de 1 à 10, ceci pour les essais de lignes et le fonctionnement à différentes charges avec le maximum de sécurité.

D) Un panneau de réserve.

Digitized by Google

Tableaux auxiliaires. — De chaque côté des tableaux ci-dessus se trouvent :

a) D'un côté, les appareils commandant l'éclairage de secours assuré par le courant de la batterie d'accumulateurs avec ampèremètre et voltmètre pour indications de régime.

b) De l'autre côté, la commande générale de tous les services auxiliaires avec ampèremètres.

Poste de transformation 5 700/55 000 v. — Derrière la boucle 5 700 v se trouve le poste de transformation 5 700/55 000 v.

Les transformateurs sont disposés en deux groupes de trois unités monophasées de 3 000 kw de l'Éclairage Électrique, comme nous l'avons déjà dit.

Chaque transformateur monophasé est logé dans une cellule de 2,40 m de largeur sur 3,30 m de profondeur.

L'installation comporte donc six appareils, plus un septième transformateur identique aux précédents intervenant comme secours en cas d'avarie à l'une quelconque des unités des deux groupes. Il y a donc sept cellules fermées par des rideaux métalliques s'ouvrant de l'extérieur (fig. 22). Le plancher de chaque cellule reçoit deux rails métalliques guidant les galets de roulement des transformateurs que l'on peut ainsi amener sur un chariot également sur rails se déplaçant le long des cellules et pouvant rentrer dans l'atelier de réparations.

Dans chaque groupe de transformateurs, les primaires sont connectés en triangle et branchés sur le circuit 5 700 v (constitué par trois barres venant de l'interrupteur de mise en parallèle) par un disjoncteur 5 700 v dans l'huile constitué par trois bacs unipolaires accouplés par le même arbre que les disjoncteurs unipolaires 55 000 v. L'arbre de commande est actionné par deux deux moteurs en bouts d'arbre mis en parallèle sur le même interrupteur.

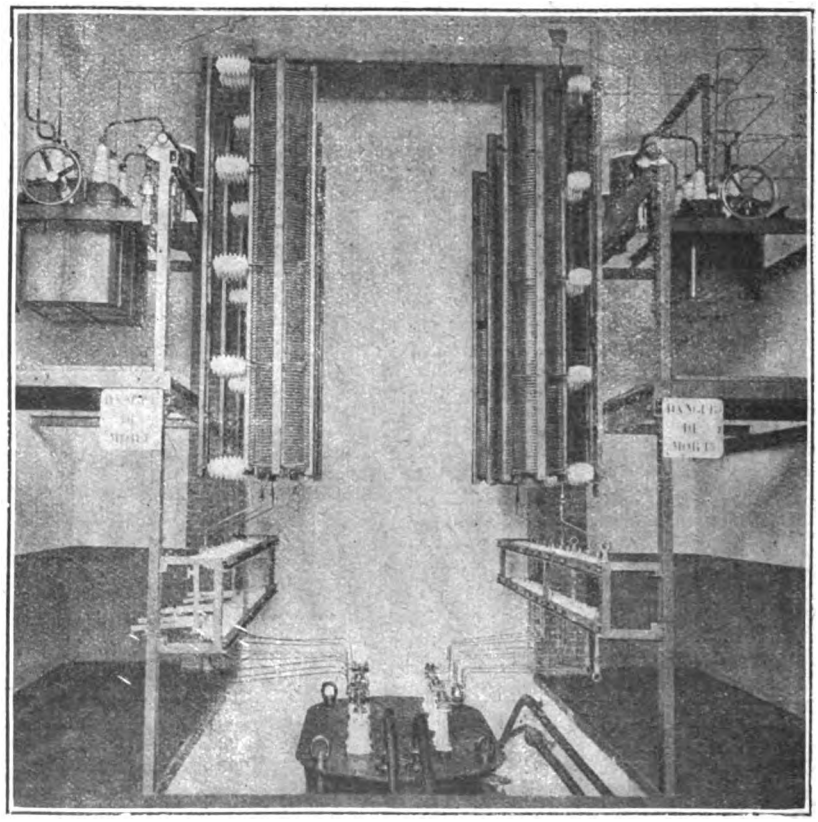


Fig. 23. — Bobines de protection d'un transformateur fournies par l'Eclairage Electrique.

La capacité de ces disjoncteurs est de 75 000 kv-a. Leurs cuves peuvent être descendues par un petit treuil monté dans les chapeaux, ceci pour faciliter la visite intérieure et l'entretien.

Sur chaque circuit à 5 700 v avant l'entrée du disjoncteur sont placés trois transformateurs d'intensité alimentant les relais.

Quant aux secondaires des transformateurs, ils sont connectés en étoile et donnent 55 000 v en charge avec $\cos \varphi = 0{,}7$.

Le neutre de chaque groupe de transformateurs côté 55 000 v est relié à un parafoudre à cornes mis à la terre par l'intermédiaire d'une résistance liquide, de façon à avoir une protection contre les surtensions. Le courant transformé à 55 000 v traverse les bobines de choc (fig. 23 et 24) qui ont ici une grande importance en raison des surtensions qui prennent fréquemment naissance dans les lignes aériennes de transmission à profil très accidenté. Au sortir de ces bobines, les barres aboutissent aux disjoncteurs monophasés 55 000 v et de là, à travers des couteaux de sectionnement, viennent alimenter la boucle 55 000 v située au premier étage du poste.

Départs 55 000 v. — Sur la boucle 55 000 v sont branchés deux départs aériens allant à l'usine de Pont-de-Lignon et de là à Saint-Etienne.

Le nombre de départs prévus est de trois.

Le circuit d'un départ se compose comme suit :

En dérivation sur la boucle 55 000 v, trois sectionneurs protégeant trois transformateurs d'intensité pour relais et ampèremètres. Ensuite se trouve un disjoncteur dans l'huile (capacité 75 000 kv-a) constitué par trois bacs unipolaires identiques à ceux déjà décrits. Après le disjoncteur sont montées en série les bobines de réactance, puis en dérivation sur le départ, trois couteaux aboutissant aux parafoudres à jet d'eau munis d'un ampèremètre sur chaque phase pour le réglage de

Digitized by Google

la veine liquide. Sur chaque départ, on a réservé la place d'un limiteur de tension éventuel protégé par des cloisonnements.

Enfin, au deuxième étage, on trouve les parafoudres

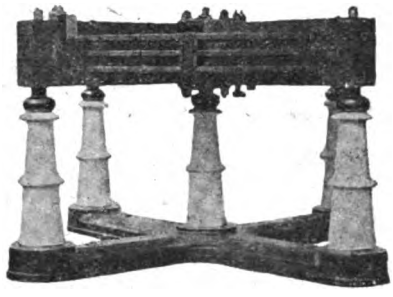


Fig. 24. — Bobine de choc de l'Eclairage Electrique.

à cornes (un sur chaque phase) protégés par des couteaux qui permettent de les isoler du départ.

Entre l'éclateur et la terre est montée une résistance liquide constituée par trois cuves en grés.

Les circuits de terres sont formés par des rubans en cuivre rouge de 30 × 3 mm, un par phase.

On remarque en plus que chaque phase de départs peut être, par un jeu de couteau, mise à la terre pour le cas de réparations et assurer ainsi la sécurité du personnel.

Mesures de sécurité. — Toutes les ferrures nécessitées soit pour la fixation des conducteurs haute tension, soit pour l'établissement des différents appareils, sont mises à la terre pour la protection du personnel.

De plus, les limiteurs à jet d'eau, les parafoudres 55 000 et 5 700 v ont chacun leur mise à la terre.

L'établissement de ces terres de protection a été réalisé d'une façon très soignée pour apporter le maximum de sécurité. Les terres sont établies à une profondeur de 3 m environ et elles sont constituées chacune par trois tuyaux en fonte reliés entre eux par des connexions en cuivre.

Aux abords de l'usine, le terrain naturel étant rocheux a nécessité une précaution spéciale pour réaliser les prises de terres. A cet effet, il a été placé sur le terrain rocheux un lit important de terre végétale mélangée de sels conducteurs, les tuyaux ont été enfouis dans une couche de poussier de coke et recouvert de terre végétale jusqu'à la surface du sol.

Les câbles reliant les parafoudres et autres aux tuyaux en fonte sont isolés du sol par des poteries pour éviter les courants de surface.

Ces poteries servent en même temps de canalisation d'eau pour humidifier les couches inférieures et dissoudre les sels conducteurs pour les mélanger intimement à la couche de terre végétale et assurer un bon contact avec les tuyaux en fonte.

De cette façon, on est arrivé à avoir pour ces prises de terre une résistance très faible variant d'un à 10 ohms.

Eclairage du poste. — A chaque étage, un interrupteur d'allumage fonctionne sur le circuit alimenté par la basse tension des transformateurs des services auxiliaires.

De plus, un éclairage de secours est assuré par la batterie d'accumulateurs dont il a été parlé précédemment, l'allumage s'obtient du tableau général de la salle des machines.

Cabine du chef d'usine. — Du côté opposé au départ 5 700 v est placée la cabine du chef d'usine munie d'appareils téléphoniques reliant celui-ci à la chambre d'eau, au barrage et au réseau privé de la Compagnie électrique de la Loire et du Centre, ainsi qu'au réseau de l'Etat.

De plus, un appareil télégraphique système Jousselin permet d'utiliser les lignes téléphoniques à la terre en

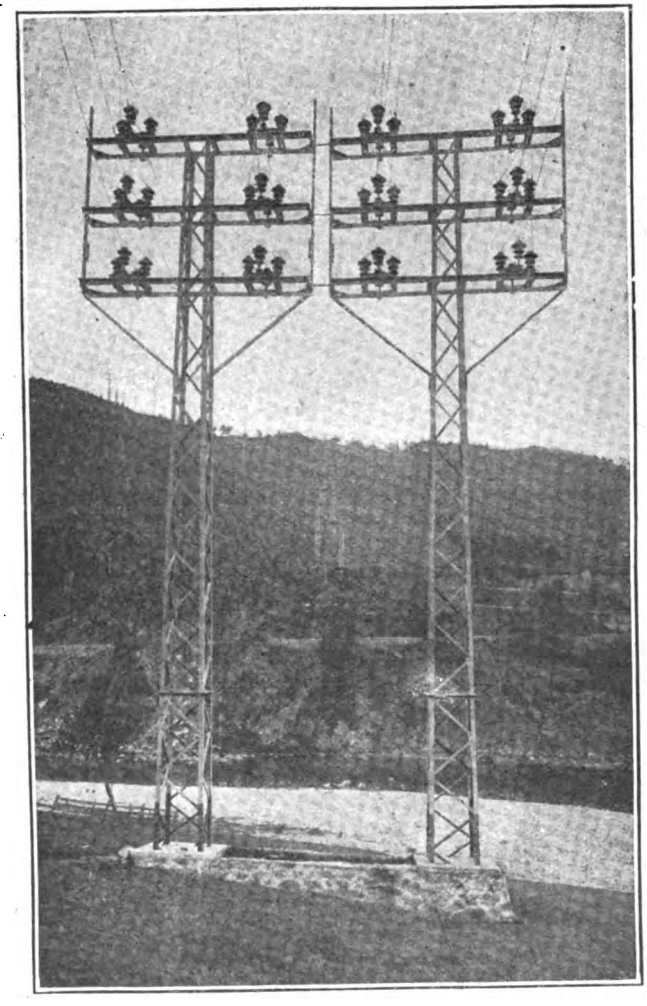


Fig. 25. — Ligne de transport d'énergie à 55 000 v (Traversée de la Loire, portée 140 m.)

transmettant une série de phrases conventionnelles portées sur son cadran.

Ligne de transmission d'énergie. — L'usine de l'Ance est reliée au réseau de la Compagnie Electrique

Digitized by Google

de la Loire et du Centre par une ligne de transmission à 55 000 v sur pylônes métalliques allant directement à l'usine hydro-électrique du Pont-de-Lignon, et de là à Saint-Etienne.

Cette ligne présente deux particularités très intéressantes; en premier lieu, une traversée de la Loire réalisée en une seule portée de 140 m de longueur (fig. 25).

La ligne traverse ensuite une région montagneuse avant d'arriver à l'usine de Pont-de-Lignon. La partie descendant directement du point culminant sur l'usine de Pont-de-Lignon a présenté des difficultés considérables puisque en différents endroits les pentes sont tellement abruptes qu'on a dû construire et river les pylônes sur place ne pouvant les hisser d'une pièce à leur place définitive.

Prix de revient. — Résultats d'exploitation et conclusion. — Les dépenses engagées pour la construction de l'Usine de l'Ance se décomposent comme suit :

Bâtiments, terrains et travaux hydrauliques, en francs.....	9 598 996,60
Equipement mécanique et électrique en francs.....	1 118 534,48
Total en francs.....	10 717 531,08

Prix du cheval-vapeur installé : 750 francs.

La production en énergie de l'Usine de l'Ance pendant les exercices 1916-1917 et 1917-1918 comparée à la production des autres usines du secteur de Saint-Etienne de la Compagnie Electrique de la Loire et du Centre peut être résumée comme suit :

TABLEAU II. — *Production comparée des usines de la Compagnie Electrique de la Loire et du Centre.*

	PRODUCTION DE L'USINE DE L'ANCE en kw-h	AUTRES USINES DU SECTEUR		USINES D'AUTRES SOCIÉTÉS kw-h	TOTAL en kw-h
		hydrauliques kw-h	thermiques kw-h		
Exercice 1916-1917.....	17 049 000	15 338 100	14 991 640	65 746 288	113 125 028
Exercice 1917-1918.....	26 292 000	13 362 330	17 222 360	59 298 871	116 175 661

Pour l'exercice 1916-1917, la charge annuelle d'amortissement à 5,50 pour 100 des capitaux engagés est en francs de.....	708 330,00
Les frais de production et frais généraux ont été en francs de	164 054,83
Dépense annuelle totale en francs ...	871 384,83

Le prix de revient du kilowatt-heure est de

$$\frac{871\,384,83}{17\,049,000} = 0,05107 \text{ fr : kw-h.}$$

La recette par kilowatt-heure produit dans le secteur de Saint-Etienne étant de 0,08941 fr, le bénéfice par kilowatt-heure est de

$$0,08941 - 0,05107 = 0,03834 \text{ fr : kw-h}$$

soit au total, pour le premier exercice, un bénéfice de

$$0,03834 \times 17\,049\,000 = 650\,000 \text{ francs.}$$

Les travaux que nous venons de décrire, terminés en pleine guerre dans les conditions les plus difficiles, ont été exécutés par la Société Générale d'Entreprises et la maison Fougerolle frères, entrepreneurs généraux, pour le compte de la Compagnie Électrique de la Loire et du Centre qui a mis ainsi à la disposition des industries travaillant pour la défense nationale dans la région de Saint-Etienne une puissante source d'énergie hydro-électrique, à des conditions particulièrement avantageuses de bon marché,

Si l'on calcule l'économie de charbon que représente la mise en valeur de cette richesse naturelle inépuisable qu'est la chute de l'Ance, on peut se rendre compte que les 30 millions de kilowatts-heure qu'elle est susceptible de fournir annuellement correspondent (pour 1,5 kg de charbon par kilowatt-heure produit) à une diminution de 45 mille tonnes dans nos importations de charbon.

Jacques DE SOUCY,
Ingénieur-conseil.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

De quelques matières premières nécessaires à l'industrie électrique

Le mica (*Suite*)

Nous continuons ci-dessous la publication de l'étude de M. Désiré Pector commencée dans la « R. G. E. » du 3 mai 1917, t. V, p. 673. Dans cette partie, l'auteur examine les gisements de mica de l'Afrique, de l'Amérique et de l'Océanie.

Afrique. — Afrique orientale allemande (Deutsch Ostafrika). — Les gisements de muscovite se trouvent dans les monts Uluguru et chaînes environnantes, à l'ouest de Dar-es-Salaam, au sud de Zanzibar, à 100 km à l'ouest de la côte.

Les deux principaux districts producteurs de ce mica blanc de bonne qualité sont les suivants:

1° La région bordant la rivière Mbakana, tributaire de la Mgeta. Elle était exploitée avant la guerre par la « German East Africa mica and mining Co, » et les principales mines portaient les noms de Bertha, Bernhardt, Gerlach, Borchers et Hohe Wacht.

2° Les terrains situés au nord de Morogoro, propriété de la « Morogoro Mica Co », autre compagnie allemande, dont les principales mines étaient : Kalte Platte, Hannoverland, Eimbeck, Richard Prüsse, Kronprinzessin et Preussen.

Dans ces régions on trouve souvent, d'après le Dr A. Klautzsch, des agrégats de grandes feuilles de mica enclavées dans le massif des dykes. On y a trouvé un cristal mesurant 35 × 31 pouces anglais en travers des plaques. L'extraction a permis d'obtenir des feuilles parfaites, mesurant jusqu'à 13 × 18 pouces de diamètre, et exemptes d'éclatement et d'avarie. Mais les obstacles qui empêchaient une exploitation intensive de ces gisements consistaient en la pénurie de transports adéquats ainsi que de main-d'œuvre. Néanmoins l'extraction, qui a commencé en 1902, a progressé quelque peu et, en 1909, 1910, le total de muscovite produit dans cette colonie avait été de 104 t de minéral brut, d'une valeur de 258 797 marks. (Tableau III.)

L'exportation avait alors l'Allemagne comme presque exclusif pays destinataire.

Tableau III. — *Rendement et exportation de l'ancienne Afrique Orientale allemande.*

	Valeur en francs		Poids en kg	Prix moyen en marks par kg
	d'extraction	d'exportation		
1903-1904 .	7 350	5 025	4 772	
1904-1905 .	21 000	7 240	8 461	
1905-1906 .	45 200	20 675	12 230	
1906-1907 .	83 750	44 485	23 917	2,87
1907-1908 .		82 410	23 461	2,89
1908-1909 .	257 275		77 538	2,69
1909-1910 .	315 600	253 165	94 852	2,73
1910-1911 .	391 125	315 560	106 580	3,01

Algérie. — On trouve de la muscovite près d'Alger dans des roches éruptives. Densité : 2,855.

Côte d'Ivoire. — L'ingénieur grec Th. Armas a rencontré dans un dyke pegmatitique près d'Aloso, à Sokboloubon, non loin de Grand Bassam, de la muscovite en quantités et qualités suffisantes pour permettre leur examen approfondi en vue d'une exploitation possible.

Dahomey. — La muscovite abonde près de Tchaourou et de Djugou, et aux environs du Niger.

Gabon. — On trouve aussi de la muscovite dans les roches éruptives du Congo français.

Kamérour. — Cette région contient des gisements micafères.

Madagascar. — On y trouve : de la lépidolite au mont Bity et à Maharitra; de la phlogopite dans la région de Fort Dauphin (col d'Ampikaza), à Tananarive, à Mahafaly (environs d'Ampanihy); de la zinnwaldite en grandes lames à Antafoka, près de Mandrarivo; de la muscovite à Ankaratra, à l'est d'Analalava, à Betainiomby, vallée du lac Loky, dans l'Imerina (environs d'Antsirabé), environs du Fort Dauphin et dans le bassin du Mananjara. la Société des graphites et de l'Ankaratra, de Paris (16, rue de la Pépinière), extrait du mica, qualité rubis de l'Inde un peu pâle. Quoique ce produit soit parfois un peu tacheté, il est entièrement utilisé par la consommation française, surtout pour l'aviation.

Soudan et Niger — M. Vuillet a trouvé des gisements de muscovite dans le cercle d'Ouagadougou, entre Baouïga et le marigot Kassini.

Digitized by Google

M. Henri Hubert, dans sa brochure intitulée : « Sur une série de roches provenant du Niger » (Imprimerie Nationale, Paris, 1904), parle d'une série d'échantillons de roches à mica qu'il a rapportés de cette région et des gisements de muscovite trouvés aux rapides de Labezenga par les capitaines L. Fourneau et Lenfant; le mica y est assez abondant et disséminé en très petites lamelles. Aux rapides de Kendadji les mêmes officiers ont trouvé de la biotite très altérée, de teinte verte. Son polychroïsme, très peu sensible, passe du brun pâle au brun verdâtre presque incolore. Ces roches proviennent toutes des bords immédiats du Niger, dans la partie comprise entre Ansongo et Jebba.

Transvaal. — Dans la partie septentrionale de ce pays on exploite du mica très clair et parfait. Les gisements se trouvent dans les environs de Macutsi, à 25 milles à l'est de Leydsdorp, près de la rivière Olifant ou Lepalule. En 1910, on commençait l'exploitation de ces gisements en prévision de l'achèvement du chemin de fer de Selati donnant accès au district. On a calculé que le prix d'exploitation par tonne de mica rectangulaire n'ayant pas moins de 4 pouces de long reviendrait entre 75 £ et 95 £, la tonne rendue à London.

Amérique. — Argentine. — Il y a dans le district montagneux de la province de Cordova des gisements de mica comprenant de grands feuillets clairs mesurant 28 × 4 pouces. Mais leur rendement était peu important avant la guerre, la valeur exportée de 1898 à 1900 n'ayant été que de 11 000 $, répartie, pour les trois quarts, aux États-Unis, et le reste en Europe. On signale aussi des gisements de mica dans la province de San Juan, sur les contreforts de la Cordillère des Andes, mais ils n'ont pas encore été exploités, à notre connaissance, faute de moyens de transport.

Bolivie. — Sur le versant des Andes de la Cordillera Real, on a exploité la muscovite sous forme de grands cristaux, en plaques assez grandes, pour usage industriel. Ce mica se trouve dans la variété de granits à grands cristaux, dite la pegmatite. Le port d'embarquement de ces micas est à Antofagasta (Chili).

Brésil. — Les Etats de Goyaz, Minas Geraes, Bahia et Sao Paulo contiennent des dykes de pegmatite donnant des feuilles vendables de muscovite. Ces gisements ressemblent beaucoup à ceux de l'Inde. Le mica de Goyaz est d'excellente qualité. On trouve à Baritti de la phlogopite couleur jaune d'or. Des schistes métamorphiques de Santa-Luzia de Carangola, situés sur les confins des Etats de Minas Gereas et d'Espiritu Santo, sur le flanc des monts Cayama et Popogais, faite de partage des eaux des rios Sao Joad do Rio Preto et Corangola, on extrait actuellement tout le mica exporté du Brésil. A citer aussi les gisements de : Bicas, sur la Leopoldina ; ceux de Sao Domingo do Rio de Peixe, dans le municipe de Conceicao; dans l'Etat de Sao Paulo : ceux de Bananal, Stapecerica, Paranyba, Sao Bernardo, Juquié. En 1910, six mines exportaient du mica. Mais deux seulement étaient exploitées régulièrement : la mine Fonseca et la mine Coronel Seraphino, distantes l'un de l'autre d'environ 1 km. La majeure partie du mica extrait est consommée dans le pays pour des usages industriels; l'exportation est donc réduite, puisque, jusqu'en 1902, la valeur exportée n'avait été que de 626 000 fr et le rendement en 1906 n'avait été à peine que de 6 t. Les principaux ports importateurs de ce produit, ces dernières années, ont été : London, le Havre, Genoa et New-York. La qualité exportée porte le nom de rubis et 50 pour 100 environ du minéral expédié mesure une moyenne de 6 pouces par le travers des plaques. D'après un rapport d'ingénieurs, fourni au secrétariat de l'Agriculture de Sao Paulo et reproduit par « l'Exportateur français » d'août 1918, « le mica paulista, examiné à London en 1912, fut estimé entre 5 et 7 shillings la livre anglaise, ce qui correspond à 8 ou 12 milreis le kilogramme. Le prix du mica brut à Sao Paulo oscille autour de un milreis le kilogramme; celui du mica découpé varie suivant la qualité, l'épaisseur, la perfection et la grandeur des plaques ». Le mica brésilien n'est guère coté sur le marché de London à cause de son mauvais emballage, de son façonnement défectueux et de son mélange avec des substances étrangères.

Les feuillets de mica sont empaquetés en boîtes de 100 livres environ et transportés à dos de mules jusqu'à la station de chemin de fer Leopoldina de Santa-Luzia, distante de 15 kilomètres. Nous donnons ci-dessous un aperçu des frais (d'avant la présente guerre) par tonne, de transport du mica brésilien, de la mine à un port européen, en monnaie française :

Extraction, façonnage, préparation et transport à la gare de Sta-Luzia	1 217,50 fr
Transport terrestre jusqu'à Rio de Janeiro...	39,00
Taxe d'exportation d'Etat	146,10
Magasinage, transbordement, etc.....	24,35
Fret maritime pour l'Europe, assurances, etc.	121,75
	1 548,70 fr

Comme autorité scientifique sur le mica, au Brésil, on peut citer M. O. A. Derby, du Service géologique du Brésil.

Quant à la bibliographie sur cette provenance de mica, on peut consulter avec fruit (1).

Canada. — La phlogopite ou mica ambré forme de beaucoup la plus grande partie de la production canadienne. Ces micas se trouvent comme constituants de veines de pegmatites qui composent les roches laurentiennes. On les rencontre donc associées à des feldspaths, quartz, etc.

Les principaux gisements de la province de Québec se

(1) Scott (H. Kilburn); The occurence of mica in Brazil. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, 1902-1903, t. XII, p. 357. Mica in Brazil. *Mines and Minerais*, août 1903, t. XXIV, p. 34, Scranton (Pennsylvania).

Le géologue autrichien chevalier Franz von Hauen s'est aussi occupé du mica de la région de Rio-Janeiro.

Digitized by Google

trouvent dans les districts des rivières Lièvre et Gatineau, comtés d'Ottawa, de Pontiac et de Wright. Dans ce dernier comté, au canton Templeton, aux lots 16-17, rangée VIII, se trouve une mine exploitée sur une vaste échelle, à l'aide d'un matériel très complet et moderne. Cette exploitation, commencée en 1892, marchait encore bien en 1900. On en a extrait des cristaux de grandes dimensions.

Les gisements importants de la province d'Ontario se trouvent dans les comtés de Frontenac, de Lanark et de Leeds.

La muscovite ou mica blanc se trouve en bien moins grandes quantités au Canada : dans la province de Québec : dans le district de Saguenay, canton de Villeneuve, Maisonneuve, de Sales (comtés d'Ottawa, Berthier et Charlevoix) ; dans la province d'Ontario ; dans le British Columbia ; dans le Canada nord-est ; au Labrador; dans l'île de Baffin ; dans le Saskatchewan.

D'après H. de Schmid (p. 192 d'ouvrage cité), on exploite la muscovite au Canada sans grande activité, le minéral obtenant un prix moins élevé que le mica ambré, en raison de sa plus grande dureté et du fait que les feuillets sont souvent teintés de fer et de manganèse, deux défauts qui nuisent à sa qualité pour les emplois électriques.

Nous avons sous les yeux un tableau comparatif statistique de la valeur d'extraction et de celle d'exportation de mica canadien établi de 1891 jusqu'à 1910. Or, on peut constater par sa lecture, que, depuis 1891 jusqu'à 1901 inclusivement, les chiffres de valeur d'extraction sont toujours supérieurs à ceux de l'exportation. Il

TABLEAU IV. — *Valeur en dollars de l'exportation de mica canadien.*

ANNÉES	PRODUCTION	EXPORTATION TOTALE	PAYS DESTINATAIRES					
			Etats-Unis.		Angleterre.		Autres pays.	
1906.....	303 913	581 919	519 479	89,3 %	58 735	10,1 %	3 705	0,6 %
1907.....	312 599	422 172	372 798	88,3	43 913	10,4	5 461	1,3
1908.....	139 871	198 839	115 005	57,8	81 050	40,8	2 784	1,4
1909.....	147 782	256 834	229 689	89,4	24 319	9,5	2 829	1,1
1910.....	143 409	330 903	291 533	88,1	37 787	11,4	1 583	0,5

TABLEAU V. — *Quantités exportées en cwts (quintaux anglais).*

ANNÉES	QUANTITÉS TOTALES	PAYS DESTINATAIRES					
		Etats-Unis.		Angleterre.		Autres pays.	
1906.....	16 288	13 127	80,6 %	2 988	18,3 %	173	1,1 %
1907.....	9 973	8 358	83,8	1 432	14,4	183	1,8
1908	5 080	2 360	45,6	2 773	53,5	47	0,9
1909.....	6 402	5 795	90,5	549	8,6	58	0,9
1910.....	8 368	6 746	80,6	1 546	18,5	76	0,9

n'en est plus de même à partir de 1902, où les chiffres de valeur de production sont inférieurs à ceux d'exportation. Exemple, pour 1902 : extraction-valeur 135 904 $ et exportation 391 812 $. A partir de cette date, sans discontinuer les chiffres de production sont toujours inférieurs à ceux de l'exportation. On peut expliquer cette anomalie apparente de la façon suivante : ou bien les producteurs du mica n'exportent pas toujours la totalité de leur extraction d'une même année, se réservant d'exporter le solde l'année suivante, selon les chances favorables des cours du marché ; ou bien, dans les statistiques officielles, pour fixer la valeur du mica exporté, on ajoute à la valeur d'extraction les frais de transport terrestre, de la mine aux ports, l'emballage, les manipulations diverses dans les ports, l'assurance et les autres frais.

Les valeurs de la production de mica de la province de Québec ont été, d'après des documents officiels canadiens, les suivants, de 1897 à 1916 inclusivement:

	Dollars.		Dollars
1897.....	50 000	1907.....	223 878
1898.....	81 000	1908.....	95 311
1899.....	136 863	1909.....	27 034
1900.....	163 600	1910.....	51 901
1901.....	39 600	1911.....	76 428
1902.....	34 304	1912.....	99 463
1903.....	74 119	1913.....	117 038
1904.....	85 024	1914.....	67 278
1905.....	95 460	1915.....	55 897
1906.....	168 887	1916.....	177 614

On peut voir par le tableau précédent que la production maximum a été en 1907 et qu'à partir de cette époque, les chiffres ont diminué sensiblement. Cette baisse a coïncidé avec la dépression du marché du mica, qui a fait fermer plus de 80 pour 100 des exploitations. Les prix ont été plus satisfaisants pour les vendeurs en 1916

Digitized by Google

qu'en 1915, une grande partie du mica vendu provenant des stocks accumulés par les exportateurs depuis 1914, dans l'attente de prix rémunérateurs. Les principaux acheteurs ont été : les Etats-Unis et l'Angleterre.

En novembre 1912, on parlait de la découverte en British Columbia de grands dépôts de mica dans la Mica Mountain, au mile 53 R. C. de la ligne du Great Trunk Pacific Railway, à 5 000 pieds au-dessus du niveau de la mer. Les gisements à cet endroit devaient produire des feuilles allant jusqu'à 10 pieds anglais carrés.

M. H. de Schmid (aux p. 331 et suivantes de l'ouvrage cité) donne un résumé des lois minières de la province d'Ontario (1908) et de celle de Québec (1892) avec amendements de 1909, y relatifs (1).

RÉPUBLIQUE DE COLOMBIA et RÉPUBLIQUE DE CUBA. — On y trouve du mica non encore exploité.

ETATS-UNIS. — Ce pays tient la tête des pays producteurs du monde pour la muscovite. Il produit en beaucoup moindre quantité de la biotite et de la phlogopite. Nous donnons ci-dessous un aperçu des gisements par ordre alphabétique d'Etats :

Alabama. — Les principaux gisements de muscovite se trouvent dans les comtés de Randolph, Cleburn, Clay (près de Pinclucky) et de Chilton.

Alaska. — On y trouve de la zinnwaldite.

(1) *Bibliographie.* — DAWSON (George M.) ; Catalogue descriptif de la collection de minéraux du Canada. *Exposition universelle de Paris*, 1900, voir p. 184 à 186 de la traduction par Th. Denis, Paris 1900.

CARTER (W.-E.) ; Mica mines. *Journal of Canadian Mining Institute*, 1904. t. VII, p. 161,

ELLIS (R.-W.) ; Rapport sur la géologie de l'est d'Ontario *Com. géolog. Canad.* 1904.

Sur le mica canadien, *Moniteur officiel du commerce extérieur* ; 7 janvier 1904, p. 10.

Mc EVOY (L.) Rapport sur la géologie de la route de la Passe de la Tête Jaune (muscovite des Montagnes Rocheuses) partie du rapport ann. *Com. géol. Canad.* t. XI.

CORKILL (E.-T.) ; Mica in Ontario. *Canad. Ming. Journal*, 1907, t. XXVII, p. 196

CIRKEL (F.) ; The Mica industry in Canada *Eng. Ming. Journal*, 1908, p. 801. (auteur d'autres ouvrages et articles sur le même sujet).

ADAMS (F.-D.) et BARLOW (A.-F.) ; Géologie des régions d'Haliburton et Bancroft (province d'Ontario) *Mémoire VI Com. Geolog. Canad.*, 1910.

BRITISH COLUMBIA. *Annual Reports of the Minister of Mines.*

HUGH S. DE SCHMID. *Mica-gisements, exploitation et emplois* ; 2e édition, Ottawa, 1914, p. 412, nombreuses cartes et illustrations.

(Cet ouvrage résume le résultat de missions officielles dans tous les gisements du Canada, surtout ceux de Québec et d'Ontario, remplies par l'auteur en 1910, d'ordre de la division des Mines du Ministère des Mines canadien. Cet ouvrage est un des plus remarquables qui aient été écrits sur le mica en général et celui du Canada en particulier.)

Ministère de la colonisation, des mines et des pêcheries. Service des mines : H. Mercier, ministre ; S. Dufault, sous-ministre ; C. Denis, surintendant des mines.

Rapport sur les opérations minières dans la province de Québec durant l'année 1916, p. 178 avec gravures et cartes, voir p. 53-55 pour mica, Québec 1917.

SCHMID (HUGH S. DE.) I. M ; *L'industrie du feldspath au Canada* (mica : 20 p.). *Division des Mines*, imprimerie du Gouvernement, Ottawa, 1917.

California. — Les gisements de lépidolite voisins de Pala (comté de San Diego) sont exploités depuis 1899 et leur production est achetée par une maison de New-York pour la fabrication de la lithine (lithia).

La muscovite du comté de Ventura, district de Piru, à 50 milles de los Angeles, est de médiocre qualité.

Carolina (North). — L'extraction des gisements de muscovite de cet Etat découverts en 1868 est celle qui a pris le plus fort développement aux Etats-Unis. Pour le mica, c'est le pays du plus bel avenir. En 1905 cet Etat produisait 60 à 80 pour 100 de tout le rendement des Etats-Unis Son véritable district micafère s'étend, de la Tennessee State Line (Great Smoky Mountains) à l'ouest, et du Blue Ridge, à l'est, aux comtés de : Mitchell (gisements de Cloudland, Deake, Flat Rock et Heart Wiseman), — Yancey (gisements de Ray, Westall, Joe Gibbs, Young et Bailey Mountain) — Mc Dowell, Jackson, Haywood, Macon et Ashe ; — Bakerville est le centre des affaires de mica du comté Mitchell, d'où une voie ferrée, située au bas de la Foe River, permet l'exportation du mica.

Les savants Chatard et Kônig ont chacun séparément étudié la mine de Culsagee de cette région.

On trouve aussi de la fuchsite dans cet Etat (1).

Carolina (South). — Le district de Grenville, entre autres, abonde en muscovite.

Colorado. — Les gisements de muscovite les plus exploités de cet Etat se trouvent dans les comtés Boulder et Freemont, vers Cañon City.

Connecticut. — On y trouve de la muscovite un peu partout et de la lépidolite à Middletown.

Dakota (South). — On y trouve de la lépidolite dans les Black Hills. Mais c'est la muscovite qui abonde : les principaux gisements sont : à French Creek, près de Custer City, où la « New-York Mine » est la plus importante. Celle-ci et la « White Star » sont exploitées par la Westinghouse Electric Co ; puis, les gisements de Custer, Deadwood, Lost Bonanza (comté de Lawrence), les Crown et Daly mines, dont les principaux propriétaires sont de Chicago et du Middle West (2).

Georgia. — On y trouve quelques gisements de muscovite qui n'étaient pas encore exploités en 1905.

Idaho. — La majorité des mines est située dans le comté de Latah, près de Spokane, district minier Robinson : c'est là qu'en 1905 se trouvait une des plus belles et modernes exploitations du monde. L'extraction avait commencé en 1895. En 1900, elle avait produit

(1) Comme bibliographie spéciale sur le North Carolina, on peut citer :

KERR (W.-C.) ; The mica veins of North Carolina. *Transactions American Inst. Ming. Engineers*, p. 457, t. VIII, 1879.

STERRETT (D.-B.) ; Mica deposits of Western North Carolina, *Bull. U. S. Geolog. Survey*, p. 400, n° 315, 1906.

(2) Dans l'article intitulé « The Crown Mica Mine Custer City (South Dakota), p. 181 du t. LXXXVI, de la « *Mining et Scientific Press* » de San Francisco, 21 mars 1903, M. Dennis Henault décrit les conditions particulières de cette mine et la méthode qu'on y emploie pour préparer le mica pour le marché. A consulter aussi : SIMMONS (J.) ; Mica in the Black Hills of South Dakota. *Mining World*, 6 août 1910.

Digitized by Google

1 500 livres de mica coupé. Le coût du « mining » était, en 1905, évalué à 5 $ par tonne, sans doute de mica brut et non travaillé.

Maine. — On trouve de la lépidolite dans l'ouest de l'État, à Paris et Hebron, de la biotite à Topsham, de la fuchsite à Paris, à Portland, près de Middletown, et du mica blanc, pegmatites, au mont Mica, près de Paris (comté d'Oxford).

Maryland. — La muscovite s'y rencontre dans les comtés de Howard et Montgomery. On y trouve de la fuchsite à Jone's Falls.

Massachusets. — On y trouve presque partout de la muscovite; de la lépidomélane : à Balgellin, Cape Ann, et de la fuchsite à Bluefield, Chesterfield et Goshen.

Nevada. — La muscovite s'y rencontre dans le comté de Lincoln.

New Hampshire. — Cet État a été jadis le plus fort producteur de l'Union, son rendement constituant 80 pour 100 du produit total des États-Unis. La première mine ouverte, celle de Ruggles, à Valencia et Palermo, l'a été en 1803 et depuis cette époque jusqu'en 1902, elle avait produit une valeur de plus de huit millions de dollars en mica ; elle subvenait jadis à tous les besoins des États-Unis. Les autres gisements, qui n'ont commencé à être exploités qu'à partir de 1869, se trouvent dans les comtés de Grafton, Sutherland, Cheshire, Merrimac (Danbury). La mine de Ruggles avait été fermée en 1905 ; mais les exploitations de cet État avaient repris depuis lors avec le développement des industries électriques ; d'où s'ensuivit une exportation plus importante de muscovite de Bristol, Canaan, Grafton, Rumney et Warren (comté de Grafton), Danbury (Merrimac), Alstead (Cheshire), Groton. On trouve aussi de la fuchsite à Acworth et Grafton (1)

New-Jersey. — Près de Bloomingdale (Comté Passaic), il y a de la muscovite. On trouve de la phlogopite à Sterling Mine, Monis Co et Newton.

New-Mexico. — La muscovite apparaît dans le district de Cribbensville, près de la Colorado Line, et celui de las Vegas.

New-York. — On trouve de la muscovite dans les comtés de West Chester et de Saint-Lawrence ; de la phlogopite, à New-York, à Gouverneur, à Pope's Mills, à Saint-Lawrence Co, à Edwards, à Warwick et Natural Bridge ; de la biotite, à Greenwood Furnace, à Moriah; de la fuchsite, à Edenville, près de Warwick ; de la phlogopite, à Oxbow (comté de Jefferson).

Pennsylvania. — On y trouve de la muscovite un peu partout ; de la paragonite, à Unionville (comté de Delaware) ; de la biotite, à Euston ; de la fuchsite, à Pennsbury, à Unionville, à Middletown.

Utah, Virginia, Wisconsin et *Wyoming.* — La muscovite s'y rencontre.

Washington. — Un gisement de mica, exploité depuis 1897, se trouve à Chilan Falls (comté d'Okanagan).

Généralités sur les États-Unis. — Le rendement du mica aux États-Unis avait été d'une valeur de

10 757	livres sterlings	en 1894
11 464	Id.	en 1895
13 796	Id.	en 1896

Les États-Unis n'exportant pas leur mica, nous ne donnerons ci-dessous qu'un tableau de la valeur en dollars de l'extraction de ce pays pour sa propre consommation pour la période de 1897 à 1910

Tableau VI.

	MICA EN PLAQUES	MICA EN MORCEAUX	VALEUR TOTALE
	dollars	dollars	dollars
1897.....	80 774	14 452	95 226
1898.....	103 534	27 564	131 098
1899.....	70 587	50 878	121 465
1900.....	92 758	55 202	147 960
1901.....	98 859	19 719	118 578
1902.....	83 843	35 006	118 849
1903.....	118 088	25 040	143 128
1904.....	109 462	10 854	120 316
1905.....	160 732	17 856	178 588
1906.....	252 248	22 742	274 990
1907.....	349 311	42 800	392 111
1908.....	234 021	33 904	267 925
1909.....	234 482 (1)	46 047 (3)	280 529
1910.....	283 832 (2)	52 265 (4)	337 097

(1) D'un poids de 1 809 582 lbs.
(2) Valeur de 12 476 190 livres anglaises.
(3) Id. 4 090 tonnes (short).
(4) Id. 4 065 petites tonnes.

Mais ces quantités ne suffisaient pas aux besoins de la consommation des États-Unis, puisqu'ils avaient en 1900 importé 1 192 221 livres de mica pour une valeur de 721 541 $, dont 10 pour 100 venaient du Canada (phlogopite) et le reste des Indes. (Tableau VII).

Le coût de production du mica aux Etats-Unis est considérablement plus grand qu'en d'autres pays et surtout dans l'Inde. Mais la production des Etats-Unis est protégée contre l'importation des produits étrangers par un droit de 20 p. 100 ad valorem, avec 5 cents additionnels par livre pour mica brut et 10 cents par livre pour mica façonné (1).

(1) A consulter l'ouvrage de M. C.-H. Hitchcock. Mica in New Hampshire. Geology of New Hampshire, p. 89, part. v, t. III, 1878.

(1) *Bibliographie.* — J. A. Holmes ; Mica deposits in the United States. P. 691, part. VI 2 du t. XX de l'*Annual Report United States Geological Survey*, 1899.

Merril (G. P.) ; Non-metallic minerals in the section of Applied Geology of the United States National Museum-mica. *Bulletin of the U. S. National Museum*, p. 283. *Annual Report of Smithsonian Institution*. Washington D. C. 1899.

Ries (H.) ; Mica. *Economic Geology of the United States*, 1905, p. 184.

Colles (George Wetmore) ; Mica and mica industry. *Journal of the Franklin Institute*, Philadelphia, 1905.

C'est une remarquable étude scientifique et pratique, divisée en 8 chapitres : minéralogie, géologie, distribution géographique, histoire, procédés d'exploitation, utilisation, statistique du mica et conclusion).

Exploitation et usages du mica, sa production aux Etats-Unis dans *Rassegna mineraria*, Torino, janvier 1911.

Douglas B. Sterrett ; Mineral resources of the

Digitized by Google

TABLEAU VII. — *Importation de mica aux États-Unis de 1906 à 1910.*

ANNÉES	QUANTITÉS EN LBS. ANGLAISES ET VALEURS EN DOLLARS					
	BRUT		TAILLÉ OU FAÇONNÉ		TOTALITÉ	
	quantités	valeur	quantités	valeur	quantités	valeur
1906.....	2 984 719	983 981	82 019	58 627	3 066 738	1 042 608
1907.....	2 226 460	848 098	112 230	77 161	2 338 690	925 219
1908.....	497 332	224 456	51 041	41 602	548 373	266 058
1909.....	1 678 482	533 218	168 169	85 595	1 846 651	618 813
1910.....	1 424 618	460 694	536 905	263 831	1 961 523	724 525 (1)

(1) A cette somme il y a lieu d'ajouter 1 298 dollars pour mica en poudre.

GUATÉMALA. — M. René Guérin y a trouvé du mica.

GUYANNE FRANÇAISE. — La muscovite s'y trouve dans les roches éruptives.

MARTINIQUE. — On a trouvé traces de biotite aux pitons du Carbit, au Grand Ilot et à l'îlot du Vignaud.

MEXIQUE. — Des gisements de mica se trouvent dans l'Etat de Sinaloa. En outre, un gisement a été exploité de 1898 à 1901 près de Villa Corona, dans l'Etat de Durango. Du reste il y a, paraît-il, peu de probabilités pour que l'exploitation de ce minéral prenne des développements au Mexique. Ce pays faisait encore, avant la guerre, en Europe, d'importants achats de mica.

Océanie. — AUSTRALIA (SOUTH). — Il y a bien des gisements de muscovite de bonne qualité dans la chaîne Mac Donnell; mais les difficultés de transport terrestre empêchent les transactions : car les frais de transport de la mine au port reviennent à 626 francs la tonne.

AUSTRALIA (WESTERN). — On trouve toujours dans cette région la muscovite à l'état cristallin, variant en couleurs du blanc au vert, jaune et brun. Elle est élastique et pourvue d'un brillant perlé, transparent ou translucide. Sa densité est de 2,5 à 2,7. Sa composition est la suivante :

Silice.....	46,3
Alumine.....	36,8
Potasse.....	9,2
Oxyde de fer.....	4,5
Acide fluorique.....	0,7
Eau.....	1,8

On la trouve près de Bunbury, à Bindoon, à the Gascoyne et dans les champs d'or de Pilbarra et de Kimberley. Mais les dimensions réduites des plaques de ce mica en empêchent une exploitation avantageuse (1).

Les deux colonies de South et Western Australia avaient de 1890 à 1900 exporté du mica sur le marché de Londres. Mais, en 1901, ces exportations avaient cessé, le maximum de l'exportation, en 1894, ayant atteint une valeur de 63.250 francs.

NEW-ZEALAND. — Les gisements voisins de Paringa n'étaient pas exploités avant la guerre.

NOUVELLE-CALÉDONIE. — La muscovite se trouve dans les schistes cristallins de la vallée du Diahot.

PHILIPPINES. — Les gisements de ces îles ne sont pas exploités.

QUEENSLAND. — Pour renseignements sur ce pays, consulter (2).

Généralités sur les gisements mondiaux. — Pour donner une idée de l'extraction et de l'exploitation de mica des divers gisements mondiaux, nous donnons ci-dessous un tableau relatif à l'année 1910.

	Ont extrait une valeur équivalant à francs	Ont exporté une valeur équivalant à francs
Les Etats-Unis.....	1 685 485	
L'Inde britannique.....	1 325 295	953 925
Le Canada.....	717 045	1 654 515
L'Afrique orientale allemande.	315 600	213 165
Autres pays (Amérique latine, Japon, Europe).....	100 000	80 000

On peut conclure du tableau précédent qu'en l'an 1910 il a été exporté un peu plus de la moitié des minerais extraits. Mais nous sommes informé que, durant les 4 années dernières, l'exportation a été d'environ les deux tiers de l'extraction, en raison des nécessités de la guerre (3).

(*A suivre.*)

Désiré PECTOR,
Conseiller honoraire du Commerce extérieur.

United Sates. *U. S. Geol. Survey*, Washington, 1912. WATTS (A. S.); Mining and treatment of feldspar and kaolin (mica, p. 85-87). *Bureau of Mines*, Government Printing Office, Washington, 1913.

(1) A consulter : Harry P. WOODWARD. *Mining Handbook to the Colony of Western Australia*, Perth, 1894.

(1) Miça and the extraction *Queensland. Government Mining Journal*, février 1906.

Douglas B. STERRETT; Mica, its uses and prices. *Queensland Government Mining Journal*, 15 mai 1911.

(2) Les Etats-Unis n'exportent pas, consommant sur leur marché intérieur les minerais extraits.

L'exportation comprend la valeur d'extraction en 1910 plus celle du stock de l'année 1909. Ces chiffres sont approximatifs.

(3) *Bibliographie.* — Bennett H. BROUGH; Gisements de mica, *Journal of the Society of Arts*, London, 1904, n° 2667-2669, 1, 8, 15 janvier.

Digitized by Google

Revues, analyses et informations

Les conséquences économiques de la guerre aux Etats-Unis.

Dans une communication très documentée faite à la séance du 19 mars de la Société de Statistique, M. Yves-Guyot a complété la communication qu'il a faite en mai 1918 sur « les finances de guerre aux Etats-Unis » en analysant les conséquences qu'a eues l'entrée en guerre des États-Unis au point de vue économique.

Après avoir rappelé que la superficie des États-Unis est les trois quarts de celle de l'Europe, que la valeur des terres cultivées et bâtiments de ferme est évaluée à plus de 200 milliards pour 1918, que le capital investi dans la grande industrie (chemins de fer exceptés) dépassait 115 milliards en 1913, M. Yves-Guyot examine successivement le développement industriel pendant les années de guerre, les moyens qui permettront de payer les 125 milliards dépensés pour la guerre, la situation des Compagnies de chemins de fer, la question ouvrière, etc. Nous donnons ci-dessous quelques extraits du compte rendu de cette communication (1).

I. Le règlement des dépenses de guerre. — Comment les États-Unis supportent-ils les dépenses de guerre?

L'année fiscale de 1918 finira le 30 juin 1919. Les dépenses sont évaluées à 24 milliards de dollars, soit plus de 125 milliards de francs.

Ils seront demandés à l'emprunt et à l'impôt. Les quatre « Liberty Loans » ont produit 16974 millions de dollars. Le congrès a autorisé le président à émettre un cinquième emprunt s'élevant jusqu'à 7 milliards de dollars en titres à court terme. On prévoit un taux de 4,50 à 5 pour 100 et le remboursement en cinq ans.

Le 24 février 1919, dans le train qui l'emmenait de Boston à Washington, le président Wilson a signé le nouveau « Revenue Bill » sur l' « income and war taxes » pour l'année 1918.

Le secrétaire d'état Glass lui a donné le titre de « Victory Tax ». La perception en a commencé dès le 25 février et doit être terminée au 30 juin.

L' « Income Tax section » frappe les revenus de 3000 à 5000 dollars d'une taxe de 6 pour 100. Pour un revenu de 16000 dollars, la taxe est élevée à 12 pour 100 qui reste invariable, mais on y ajoute une surtaxe qui, de 1 pour 100 s'élève jusqu'à 65 pour 100 pour les revenus au-dessus de 10000000 dollars. Pour un revenu de 1000000 dollars, la taxe et la surtaxe absorbent 703000 dollars.

Le « Bankers trust Company » a fait un travail très intéressant sur la possibilité de pourvoir aux 24 milliards de dépenses d'après les revenus des contribuables. Il admet que le revenu général est de 60 à 70 milliards de dollars. Il prend le chiffre le plus bas, soit 52850 millions de dollars pour les familles et 7150 millions pour les « corporations » (sociétés par actions).

L'impôt doit donner 9076 millions de dollars; le surplus 14923 dollars doit être pourvu par des emprunts.

Quelle peut être la part des impôts et des emprunts par catégories de contribuables? Un graphique montre que jusqu'au-dessous de 100000 dollars de revenu, la part de l'impôt est inférieure à celle que peut donner l'emprunt, c'est à-dire l'impôt volontaire. Mais, à partir de 100000 dollars, la proportion est changée : la part de l'emprunt n'est plus que de 27,40 dollars sur 66,50 dollars et elle ne cesse de diminuer.

Le poids de l'impôt est lourd ; si l'individu perd, il subit la perte tout entière et le Gouvernement peut lui prendre jusqu'à 80 pour 100 de son revenu.

Ce qui lui reste est suffisant, répond-on!

Soit. pour ses besoins personnels, mais ces lourds impôts empêchent la formation de capitaux, paralysent l'esprit d'entreprise.

Le nombre des revenus de 3000 dollars à 4000 dollars a augmenté de 120 pour 100, mais au-dessus de 10000 dollars, cette augmentation est restreinte à 10 pour 100 et pour les très gros revenus, elle a disparu.

Il est arrivé que tel industriel, après avoir rengagé ses capitaux, s'est trouvé, pour faire face aux réclamations du fisc, dans l'obligation d'emprunter pour payer ses impôts.

II. La question ouvrière. — Parmi les causes de perturbation pour la reconstitution économique des États-Unis, se trouve la question du travail.

La propagande germanique faisait dire aux ouvriers : « La guerre, c'est une guerre des capitalistes, des grands industriels qui, ayant fait des crédits aux nations alliées, ont besoin de se faire payer et qui, si elle éclate, verront augmenter leurs commandes. »

Le gouvernement fédéral a voulu permettre de donner à ces arguments la réponse suivante :

« Si c'est une guerre de capitalistes, le congrès et le président ont été dominés par le capitalisme et ils doivent continuer à l'être. Or, quels sont les faits? Avant l'entrée des Etats-Unis dans la guerre, les capitalistes pouvaient toucher leurs bénéfices comme ils l'entendaient; aussitôt la guerre déclarée, l'administration fixa les prix maxima « auxquels les capitalistes vendraient les produits du tra« vail »; les prix du charbon, du blé, des métaux, du cuivre furent fixés, mais pas un instant il n'a été question de fixer le maximum du prix du travail. Au contraire, quand on a fixé le prix du cuivre, on stipula le maintien des salaires aux taux antérieur. Comment, en présence de ces faits, peut-on alléguer que c'est une guerre de capitalistes?

Les ouvriers américains ont été frappés par cet argument et ont répondu à l'appel, mais en même temps ils se sont placés comme puissance distincte de l'ensemble de la nation : « Nous déclarons que les wage earners (les salariés) ont le droit de déterminer les conditions auxquelles ils doivent fournir leurs services ; que le travail sera représenté dans tous les conseils pour la conduite de la guerre et dans la commission choisie pour négocier les termes de la paix. »

The New-York State Industrial Commission a donné les chiffres suivants au mois d'août des salaires, sans distinguer entre ceux des hommes et des femmes, entre ceux des employés et des ouvriers.

		Par semaine	p. 100
1914	Dollars.	12,53	100
1917	—	16,44	131
1918	—	21,23	169

(1) *Journal officiel*, 30 mars 1919, p. 3285-3286.

Digitized by Google

Les ouvriers n'ont pas à craindre de manquer de travail.

III. Les exportations américaines et leur règlement. — La question du commerce extérieur intéresse tout spécialement les nations alliées et la France. Quant aux Etats-Unis, son commerce extérieur représente à peu près 10 à 12 pour 100 de son revenu intérieur. Le tableau suivant donne, en millions de dollars, les valeurs des exportations et importations.

Tableau I.

PÉRIODES	EXPORTATIONS	IMPORTATIONS	EXCÉDENT des exportations
Avant la guerre :			
1913-1914.....	2 364	1 893	471
Depuis la guerre :			
1914-1915.....	2 768	1 674	1 094
1915-1916.....	4 333	2 198	2 135
1916-1917.....	6 299	2 659	3 640
1917-1918.....	5 938	2 946	2 982

Cet excédent des exportations provient surtout du commerce des Etats-Unis avec l'Europe.

Tableau II. — *Europe.*

PÉRIODES	EXPORTATIONS	IMPORTATIONS	EXCÉDENT des exportations
1916-1917.....	4 324	610	3 714
1917-1918.....	3 738	411	3 327

Les payements se sont effectués par des retours aux Etats-Unis des valeurs américaines possédées par des Européens. L'or n'a joué qu'un rôle d'appoint. De 1915 à 1918, importations d'or : 1595 millions de dollars ; exportation : 629 ; reste comme excédent 966 millions de dollars, tandis que l'excédent des exportations de marchandises a été de 8847 millions de dollars, soit plus de 816 pour 100 en plus.

Comment les comptes se sont-ils réglés ? Par des créances des Etats-Unis sur les pays acheteurs.

On estime que les dettes des pays alliés dépassent 8 milliards et demi de dollars et un intérêt de 500 millions. Comment les alliés peuvent-ils payer ces intérêts ? De plus, comment pourront-ils payer le coton, le blé et autres objets d'alimentation et matières premières, machines dont ils ont besoin !

Pas en or, puisque l'encaisse des Etats-Unis représente actuellement le grand réservoir de l'or ; pas en marchandises, le tarif des douanes des Etats-Unis n'en favorise pas l'entrée et, de plus, les nations alliées ne peuvent leur fournir pour une pareille somme les objets dont ils ont besoin.

Alors, comment pourra se faire le règlement ? M. Vanderlip, avec l'autorité que lui donne la qualité de président de la National City Bank, a, entre autres, dans une étude intitulée : « Reconstitution », posé la question de la manière suivante :

Les Anglais ont rendu le plus grand service à la civilisation et ont développé leur commerce en faisant des prêts aux pays neufs, les Etats-Unis, l'Amérique du Sud, l'Inde, leurs dominions ; nous devons faire de même. Au lieu de réclamer les intérêts de nos créances aux alliés, nous devons devenir leurs commanditaires et nous rembourser de nos créances avec les bénéfices que nous ferons avec eux et ces bénéfices serviront de règlements de compte pour nos exportations.

C'est une manière hardie mais féconde de comprendre le rétablissement de l'équilibre entre les Etats-Unis et les alliés et M. Yves-Guyot espère que, du côté des alliés, on saura la comprendre et la seconder.

Dans une réunion tenue le 9 décembre 1918 chez Judge Gary, le président de l'United States Steel Corporation, où se trouvaient tous les grands métallurgistes américains, a posé nettement la question du rétablissement des affaires des Etats-Unis : les industriels doivent prendre l'initiative de la baisse des prix, autrement les acheteurs se réserveront, au lieu d'acheter et de se mettre au travail. C'est un bénéfice pour tous qu'elle se présente le plus tôt possible, car elle est le principal facteur du retour à l'activité économique normale.

L'épargne française et ses placements pendant la période d'avant-guerre.

La reconstitution industrielle des régions libérées exigera l'immobilisation d'importants capitaux. Pourront-ils être fournis par l'épargne française ou faudra-il faire appel à l'étranger pour les constituer ?

Une intéressante communication, faite par M. René Pupin à la séance du 10 avril 1919, de la Société de Statistique de Paris, permet d'envisager la possibilité de n'avoir recours qu'à l'épargne française car il résulte des chiffres donnés par le conférencier que, durant la période 1911-1913, le montant annuel des placements effectués en France a été d'au moins 5 milliards de francs.

Suivant la définition de M. René Pupin, « la portion non consommée des revenus constitue l'épargne ». Mais comme toutes les économies individuelles ne peuvent être recensées auprès de leurs auteurs, la seule façon rationnelle de les évaluer est de mesurer les « placements » à l'aide de tous les indices que nous pouvons recueillir, car, pour « placer », il faut « épargner » d'abord.

On peut recourir à deux procédés pour estimer nos placements annuels en valeurs mobilières, le meilleur étant très probablement celui qui prend pour base principale le produit de l'impôt sur le revenu des valeurs mobilières. Il suffit alors d'appliquer le taux de progression constaté, à un chiffre du capital communément admis à une époque donnée, pour mesurer les nouvelles créations annuelles, soit de 4000 à 4300 millions, suivant M. René Pupin, dans chacun des exercices qui précèdent la guerre.

Deux procédés, encore le second visant à contrôler le premier, permettent d'envisager le chiffre de 1000 à 1100 millions comme un minimum pour les capitaux annuellement investis dans la propriété bâtie (nouveaux immeubles seulement).

Les fonds de commerce et d'industrie privés constitués chaque année sont estimés à 100 millions d'après la statistique des patentes. L'augmentation de la valeur des objets d'art et de collections, d'orfèvrerie, de bijouterie ainsi que celle du stock monétaire peut être évaluée à 350 ou 500 millions par an.

Au total, les placements définitifs des Français auraient donc atteint annuellement, dans la période 1911-1913, une moyenne de 5700 millions, dont 709 millions fournis par les amortissements et remboursements de valeurs mobilières, ce qui permet de conclure à une épargne réelle de 5 milliards, pour le compte des individus et des sociétés.

Digitized by Google

SECTION DE LÉGISLATION

Les patrons peuvent-ils être obligés de retenir sur les salaires dus à leurs ouvriers ou employés les impôts qui sont réclamés par le fisc ?

Les lecteurs de la « Revue Générale d'Electricité » ont vu, dans le numéro du 25 janvier 1919, un arrêt de la Cour d'Appel de Paris du 16 novembre 1916 validant une poursuite intentée par la Ville de Paris pour avoir paiement par un locataire des droits de voirie que devait le propriétaire à la Ville elle-même. Nous allons assister maintenant à des réclamations autrement plus fréquentes et lancées dans la même forme par le Trésor public contre les patrons débiteurs de leurs ouvriers qui, eux-mêmes, sont débiteurs de l'Etat.

I. — La loi du 31 juillet 1917 contient, dans son article 3, une considérable innovation : l'impôt sur les traitements et salaires, que les personnes désireuses d'employer des mots à aspect défavorable appellent souvent « l'impôt sur le travail ». Il a été à plusieurs reprises expliqué dans la loi et dans les travaux préparatoires de la loi que le patron ne doit pas l'impôt pour le personnel qu'il emploie, que sa mission est terminée quand il a accompli ce que l'article 26 de la dite loi lui commande. « Tous particuliers et toutes sociétés ou associations occupant des employés, commis, ouvriers ou auxiliaires, moyennant traitement, salaire ou rétribution, sont tenus de remettre dans le courant du mois de janvier de chaque année, au contrôleur des contributions directes, un état indiquant :

» 1° Les noms et adresses des personnes qu'ils ont occupées au cours de l'année précédente.

» 2° Le montant des traitements, salaires et rétributions payés à chacune d'elles pendant ladite année.

» 3° La période à laquelle s'appliquent ces paiements, lorsqu'elle est inférieure à une année, mais supérieure à 30 jours consécutifs.

» La disposition qui précède n'est toutefois applicable qu'en ce qui concerne les personnes dont les traitements, salaires ou rétributions, calculés conformément aux prescriptions de la présente loi, et ramenés à l'année, dépassent le minimum assujetti à l'impôt. »

Et cela est parfaitement juste : on ne trouverait pas dans la loi — et dans les nombreux rapports dont elle est issue — un seul mot qui charge le patron de faire au Trésor le paiement des impôts, dont les ouvriers ou employés peuvent être débiteurs. Seulement... il faut compter avec les principes généraux quand les lois spéciales sont muettes, et toute personne un peu initiée aux mystères du droit fiscal, savait bien que, — si les ouvriers au service chez un patron ne devaient pas acquitter les impôts à leur charge, il n'était pas besoin d'un texte pour imposer au patron de les payer en l'acquit de l'ouvrier, sauf à en retenir le montant sur la paie de ce dernier.

En effet, une loi déjà ancienne, mais perpétuellement jeune puisqu'elle est tous les jours appliquée, — la loi du 12 novembre 1808 sur le privilège du Trésor public, pour le recouvrement des contributions directes, — contient un article où on lit ce qui suit :

« Article 2. — Tous débiteurs des deniers provenant du chef des redevables et affectés au privilège du Trésor public, seront tenus, sur la demande qui leur en sera faite, de payer en l'acquit des redevables et sur le montant des fonds qu'ils doivent, jusqu'à concurrence de tout ou partie des contributions dues par ces derniers.

» Les quittances des percepteurs pour les sommes légitimement dues leur seront allouées en compte. » (L'article 58 de la loi du 30 mars 1902 applique le même principe aux taxes communales assimilées aux contributions directes.)

Nous n'hésitons point à dire que, dans sa brièveté, cet article est la base de toute une série de réclamations qui pourront être faites par les percepteurs aux patrons eux-mêmes pour exiger le paiement de ce que les ouvriers ou employés doivent au Trésor ; mais nous hésitons encore moins à dire que le dit article, après avoir rendu le patron, qui ne l'a point observé, directement responsable vis-à-vis du Trésor, couvre au contraire complètement le patron qui l'a observé, contre les réclamations du salarié.

Quelques explications très courtes sont nécessaires pour expliquer le mécanisme de la procédure fiscale, sur ce point.

Il arrive quotidiennement qu'une personne fait défense à une autre de se libérer, autrement qu'entre ses mains, de tous les deniers qu'elle pourrait devoir à une troisième : c'est la procédure dite de saisie-arrêt : les deux mots qui n'en font qu'un, indiquent admirablement le phénomène juridique qui se produit. Comme créancier, « j'arrête » c'est-à-dire j'empêche la distribution des

Digitized by Google

deniers qui allait être faite ; et je « saisis » la part qui devrait revenir à mon débiteur, mais que j'encaisse à son lieu et place ; entre particuliers, si raisonnable et fondée que soit cette méthode de paiement, elle ne se met pas en pratique sans une procédure : pour faire une saisie-arrêt, il faut d'abord que le créancier ait un titre indiscutable, ou au moins qu'il lui substitue une ordonnance du président, l'autorisant à faire la procédure indiquée ; sans cette précaution, il serait par trop facile de se croire créancier et de paralyser entre les mains de toute personne, la remise des fonds auxquels on croirait avoir droit ; lorsque l'opposition a été faite au tiers détenteur, qui prend le nom de tiers saisi, dans le langage de la procédure, il faut que le créancier dénonce, par voie d'huissier, son titre à son débiteur — le saisi — et enfin qu'il assigne les deux personnes devant le tribunal ; l'une, le saisi, pour qu'il puisse s'expliquer sur la créance invoquée ; l'autre, le tiers saisi, pour qu'il déclare s'il doit réellement quelque chose au saisi ; et, dans ce cas, combien il doit : procédure tellement élevée comme frais, et si féconde en délais et en incidents possibles, qu'il a fallu une loi spéciale, du 12 janvier 1895, pour les saisies sur les salaires et les petits traitements ; confiées à la juridiction du juge de paix. Enfin, observons en passant que si le tiers saisi ne fait pas sa déclaration, il sera, aux termes de l'article 577 du code de Procédure civile, purement et simplement déclaré responsable envers le créancier saisissant, se trouvant dans la même situation que le débiteur principal.

Mais le Trésor public a toujours émis la prétention de ne point être un créancier comme tout le monde ; et, puisque, quand il se trouve en présence d'autres créanciers, il entend profiter d'un privilège (1) énorme, celui de passer, sans discussion possible, avant tout autre, il est évident qu'il déclarerait aussi que les lenteurs et les frais de justice, créés pour les autres, n'existeraient pas pour lui.

Voilà pourquoi l'article 2 de la loi du 12 novembre 1808 a employé des expressions qui sortent du droit commun, et dont nous pouvons maintenant nous rendre compte phrase par phrase : Tout d'abord l'article vise « les débiteurs de deniers provenant du chef des redevables ». Ce débiteur, c'est bien le patron qui a encore aujourd'hui à son service l'employé qu'il a déclaré lui-même comme un « redevable au fisc » dans la liste officielle qu'il a fournie en janvier dernier.

Cette somme est certainement affectée au privilège du Trésor public, puisque ce privilège s'étend à tout ce que possède le redevable, à toute créance que ce redevable peut revendiquer.

Et bien, ce débiteur (le patron), sera tenu, dit l'article, de payer sur la demande qui lui sera faite. Nous ne trouvons pas le mot « instance, assignation, commandement » mais simplement le mot « demande » et le langage administratif appelle cette demande une « sommation à tiers détenteur ». Cela signifie que le Trésor n'est pas tenu de signifier son titre, par voie d'huissier, de procéder devant le tribunal à la mise en cause contradictoire du patron et du débiteur, d'exiger du premier une déclaration devant le juge ; il connaît, en effet, par avance, la somme due ; et il agit comme en matière de contribution directe, par voie de sommation.

Mais c'est à cela que s'arrête l'exception, à une dispense de procédure, et tous les autres principes généraux de la saisie-arrêt subsistent, notamment la responsabilité du patron qui, fort peu soucieux d'accorder à la sommation le respect qu'elle mérite, s'en remettrait seulement à ce raisonnement facile, « c'est affaire entre l'Etat et le salarié, qu'ils s'arrangent entre eux », il deviendrait responsable, comme le serait vis-à-vis d'un particulier saisissant, le tiers saisi qui paierait son créancier sans se préoccuper de la procédure intervenue.

Mais alors que sera la situation du patron auquel le salarié tiendrait le raisonnement suivant : « Je ne vous ai jamais donné mandat de payer mes dettes envers l'Etat : je n'ai point à vous remercier de votre zèle envers le Trésor public ; mais je veux ma paie complète. »

Dans ce cas, interviendrait la dernière ligne de l'article précité : « Les quittances des percepteurs pour les sommes légitimement dues, seront allouées en compte », ce qui signifie simplement que les débiteurs, qui auront payé au Trésor les sommes par lui réclamées, recevront une quittance que le redevable sera obligé de considérer comme des espèces. C'est le *cours forcé*, non point du billet de banque, mais de *la signature du percepteur*.

II. — Nous venons d'indiquer des principes qui, en temps normal, ne demanderaient pas d'autre explication.

Aujourd'hui, nous sommes avisés que déjà quelques percepteurs ont commencé à envoyer des « sommations à des tiers détenteurs » c'est-à-dire à des patrons pour leur demander le paiement, en l'acquit de leurs ouvriers, de deux contributions : 1° la taxe de guerre, c'est-à-dire l'impôt de 12 fr comme droit fixe (1) et établi par la loi du 30 décembre 1916, à la charge de tout Français appartenant à une classe mobilisable et placé en sursis d'appel, en congé, ou hors cadre ; 2° de l'impôt sur les salaires.

Pour la première contribution, elle est tellement faible que tout patron peut la retenir facilement sur une paie, et la libération de l'ouvrier comme celle du tiers détenteur sera immédiate.

La question de la seconde contribution est plus déli-

(1) C'est l'article premier de la loi du 12 novembre 1808 qui le déclare : « Le privilège du Trésor public pour le recouvrement des contributions directes, est réglé ainsi qu'il suit, *et s'exerce avant tout autre* : 1° ....., 2° ..... Pour l'année échue et l'année courante des contributions mobilières des portes et fenêtres, des patentes et de toute autre contribution directe et personnelle sur tous les meubles et autres effets mobiliers, appartenant aux redevables, en quelque lieu qu'ils se trouvent. »

(1) Nous ne parlons pas du droit proportionnel de 25 pour 100 du montant de l'impôt général sur le revenu, car il est de peu de portée pratique, en ce qui concerne les salaires.

Digitized by Google

cate ; la somme réclamée peut excéder assez facilement le montant de ce qu'un patron peut retenir à un ouvrier, car on sait que l'article premier de la loi du 12 janvier 1895 pose en principe que « les salaires des ouvriers ne sont saisissable que jusqu'à concurrence du dixième, quel que soit le montant de ces salaires ; les appointements ou traitements des employés et commis ne sont également saisissables que jusqu'à concurrence du dixième, lorsqu'ils ne dépassent pas 2 000 fr par an. »

Aussi les percepteurs ont-ils soin de faire une différence entre la taxe de guerre, pour laquelle ils envoient directement une sommation au tiers détenteur, sans autre explication, et l'impôt sur le traitement, pour lequel ils envoient la même sommation, mais en la faisant suivre d'un sous-titre : « Etat des contribuables pour lesquels il y aura lieu de procéder par voie de saisie-arrêt sur le salaire. »

A notre avis, cela veut dire que, pour tout salaire, ou pour tout autre traitement d'employé, égal à 2 000 fr au maximum, le patron ne devra retenir qu'un dixième de salaire jusqu'à complet paiement, le Trésor estimant qu'il ne peut être réclamé plus que le maximum de la retenue fixée par la loi du 12 janvier 1895.

Mais alors une question peut se présenter à l'esprit, pendant la période dans laquelle nous sommes, jusqu'au décret qui doit proclamer la cessation des hostilités, les saisies-arrêts sur les salaires et petits traitements sont prohibés par le décret du 26 septembre 1914 ainsi libellé :

« A dater de la promulgation du présent décret et jusqu'à la date qui sera fixée après la cessation des hostilités, il ne pourra être procédé à aucune saisie-arrêt sur les salaires et les appointements ou traitements ne dépassant pas 2 000 fr, si ce n'est pour le paiement des dettes alimentaires visées par l'article 63 de la loi du 20 décembre 1910. »

Par conséquent, tant que le décret de fin des hostilités ne sera pas rendu, le fisc peut-il demander au patron de consentir à une saisie-arrêt ?

La circulaire de la comptabilité publique, n° 2210, insinue que le décret du 26 septembre 1914 est intervenu seulement pour empêcher, dans les jours terribles de la guerre, une sorte de compression de la classe des salariés, mais qu'il ne doit plus en être question maintenant.

En tout cas, une circulaire ministérielle ne saurait annuler un décret et il faut admettre — c'est d'ailleurs une idée qui peut fort bien se défendre — que le fisc ne considère pas comme une réelle saisie-arrêt, soumise aux formalités de la loi de 1895, la procédure fiscale, dite sommation à tiers détenteur, mais que cette procédure ne doit respecter que ce qui, dans la loi de 1895, est une prescription d'ordre public, c'est-à-dire le maximum de la retenue.

Enfin, le patron n'a pas à se faire juge du mérite des procédures fiscales, et sa responsabilité sera toujours dégagée vis-à-vis du salarié, s'il obtempère aux injonctions du Trésor : il a été depuis longtemps décidé que le tiers saisi est tenu d'obtempérer à la contrainte décernée contre lui par le percepteur, même avant d'avoir fait statuer sur le mérite des oppositions formées entre ses mains et sur la préférence due au Trésor, sans encourir le risque de payer deux fois ; et cela doit être, puisque le percepteur, au lieu d'être obligé d'introduire une instance pour faire ordonner le versement par le tiers détenteur des sommes appartenant au redevable peut, après une simple sommation et sans autre formalité, contraindre le détenteur, par les voies ordinaires de droit (voir D. C. des Lois P. annoté, V. Contributions directes, n°s 1013-1014).

III. — Sans doute, les assujettis aux impôts réclamés ne seront pas réjouis par la retenue que devra leur faire le caissier de l'industriel, au moment de la paie qui suivra la réception de la sommation. Aussi, nous conseillerions volontiers au patron de prévenir son personnel avec la plus grande franchise que la retenue sera faite, parce que l'impôt est dû par le salarié, et... subsidiairement par l'employeur, si le salarié ne s'exécute pas lui-même. On ne voit pas pourquoi même ne serait pas affichée la sommation du percepteur, avec l'indication de la responsabilité qui en découle pour celui qui, l'ayant reçue, n'en aurait pas tenu compte.

Paul Bougault,
Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

Législation, jurisprudence, réglementation

Arrêt du Conseil d'Etat concernant le relèvement du prix du gaz.

Dans sa séance du 28 février 1919, le Conseil d'Etat a pris l'arrêt suivant dans l'affaire : Compagnie continentale du Gaz contre la Ville de Cholet.

Le Conseil d'Etat, statuant au Contentieux,

Vu la requête présentée pour la Compagnie continentale du Gaz, Société anonyme représentée par son administrateur délégué, tendant à ce qu'il plaise au Conseil annuler un arrêté, en date du 7 février 1917, par lequel le Conseil de Préfecture de Maine-et-Loire a rejeté la demande de la Compagnie requérante, formée contre la Ville de Cholet et tendant au paiement d'une indemnité ou au relèvement du prix du gaz à raison de la hausse exceptionnelle du charbon servant à la fabrication du gaz ;

Ce faisant, attendu que l'arrêté attaqué est en opposition directe avec l'arrêt du Conseil d'Etat, rendu le 24 mars 1916 dans l'affaire de la Compagnie générale du gaz de Bordeaux ;

Décider que la Compagnie continentale du Gaz a droit à

Digitized by Google

une indemnité correspondant au surcroît des charges du chef de la hausse du charbon au-dessus de 35 fr la tonne amenée à pied d'œuvre ;

Condamner, pour ces motifs, la Ville de Cholet à payer à la Compagnie demanderesse une somme de 249 904,75 fr au 30 juin 1918, augmentée de la somme due au jour de l'arrêt à intervenir avec intérêts de droit ;

Décider que le prix du mètre cube de gaz public et privé sera, pour l'avenir, majoré de 0,004 fr, par franc d'augmentation du prix du charbon au-dessus de 35 fr la tonne, sous déduction à faire de la plus-value des sous-produits ;

Subsidiairement, ordonner qu'il sera procédé à une expertise par trois experts qui auront pour mission : 1° de déterminer le prix maximum du charbon que les parties ont pu envisager lors de la passation des contrats ; 2° de fixer la surcharge supportée par la Compagnie au-dessus du prix maximum du charbon, toute déduction faite de la plus-value des sous-produits ; 3° d'indiquer le taux du relèvement du prix du gaz à appliquer à tous les consommateurs, en fonction du prix du charbon ;

Ordonner tel relèvement provisionnel qu'il plaira au Conseil ;

Condamner la Ville de Cholet à tous les dépens de première instance et d'appel ;

Vu l'arrêté attaqué ;

Vu l'avis du Ministre de l'Intérieur ;

Vu le mémoire en défense présenté pour la Ville de Cholet, représentée par son maire en exercice, et tendant au rejet du recours de la Compagnie continentale du Gaz et à sa condamnation à tous les dépens de première instance et d'appel, attendu que l'arrêté attaqué constate que la Compagnie requérante a avoué que la Ville de Cholet n'eût pas traité, en 1912, si le risque de guerre n'eût pas été accepté par elle sous réserve ; qu'ainsi la Compagnie du Gaz a pris à son compte les conséquences d'une guerre avec l'Allemagne ; que, par suite, elle n'est pas fondée à réclamer à la Ville de Cholet une indemnité ou un relèvement du prix du gaz à raison de la hausse du charbon occasionnée par une guerre qu'elle a prévue ;

Vu les autres pièces produites et jointes au dossier ;

Vu la loi du 28 pluviôse an VIII ;

Vu la loi du 24 mai 1872 ;

Ouï Me Porché, maître des Requêtes, en son rapport ;

Ouï Me Dambeza, avocat de la Compagnie continentale du Gaz et Me Auger, avocat de la Ville de Cholet en leurs observations ;

Ouï M. Berget, maître des Requêtes, commissaire du Gouvernement, en ses conclusions ;

Considérant qu'en principe le contrat de concession règle d'une façon définitive jusqu'à son expiration les obligations respectives du concessionnaire et du concédant ; que le concessionnaire est tenu d'exécuter le service prévu dans les conditions précisées au traité et se trouve rémunéré par la perception sur les usagers des taxes qui y sont stipulées ; que la variation du prix des matières premières à raison des circonstances économiques, constitue un aléa du marché, qui peut, suivant le cas, être favorable ou défavorable au concessionnaire et demeure à ses risques et périls, chaque partie étant réputée avoir tenu compte de cet aléa, dans les calculs et prévisions qu'elle a faits avant de s'engager ;

Mais considérant que, par suite de l'occupation par l'ennemi de la plus grande partie des régions productrices de charbons dans l'Europe continentale, de la difficulté de plus en plus considérable des transports par mer, à raison tant de la réquisition des navires que du caractère de la guerre maritime, la hausse survenue au cours de la guerre dans le prix du charbon, qui est la matière première de la fabrication du gaz, s'est trouvée atteindre une proportion telle que, non seulement elle a un caractère exceptionnel dans le sens habituellement donné à ce terme, mais qu'elle entraîne dans le coût de la fabrication du gaz une augmentation qui, dans une mesure déjouant tous les calculs, dépasse certainement les limites extrêmes des majorations ayant pu être envisagées par les parties lors de la passation du contrat de concession ; que, par suite du concours des circonstances ci-dessus indiquées, l'économie du contrat se trouve absolument bouleversée ; que la Compagnie continentale du gaz est donc fondée à soutenir qu'elle ne peut être tenue d'assurer aux seules conditions prévues à l'origine le fonctionnement du service tant que durera la situation anormale ci-dessus rappelée ;

Considérant qu'il importe de rechercher, pour mettre fin à des difficultés temporaires, une solution qui tienne compte, tout à la fois, de l'intérêt général, lequel exige la continuation du service par la Compagnie à l'aide de tous ses moyens de production, et des conditions spéciales qui ne permettent pas au contrat de recevoir son application normale ; qu'à cet effet, il convient de décider, d'une part, que la Compagnie est tenue d'assurer le service concédé et, d'autre part, qu'elle doit supporter seulement au cours de cette période transitoire, la part des conséquences onéreuses de la situation de force majeure ci-dessus rappelée que l'interprétation raisonnable du contrat permet de laisser à sa charge ; qu'il y a lieu, en conséquence, en annulant l'arrêté attaqué, de renvoyer les parties devant le Conseil de Préfecture, auquel il appartiendra, si elles ne parviennent pas à se mettre d'accord sur les conditions spéciales dans lesquelles la Compagnie pourra continuer le service, de déterminer, en tenant compte de tous les faits de la cause, notamment de la hausse des prix tant de la matière première servant à la fabrication du gaz que des sous-produits vendus par le concessionnaire, le montant de l'indemnité à laquelle la Compagnie peut avoir droit à raison des circonstances extra-contractuelles dans lesquelles elle aurait dû assurer le service pendant la période envisagée.

Décide :

Article premier. — L'arrêté susvisé du Conseil de Préfecture du département de Maine-et-Loire, en date du 7 février 1917, est annulé.

Art. 2. — La Compagnie continentale du Gaz et la Ville de Cholet sont renvoyées devant le Conseil de Préfecture pour être procédé, si elles ne s'entendent pas amiablement sur les conditions auxquelles le concessionnaire continuera son service, à la fixation de l'indemnité à laquelle la Compagnie peut avoir droit à raison des circonstances extra-contractuelles dans lesquelles elles aurait dû assurer son service, compte étant notamment tenu tant de la hausse des matières premières servant à la fabrication du gaz que de celle des sous-produits de cette fabrication.

Art. 3. — Le surplus des conclusions de la requête susvisée de la Compagnie continentale du Gaz est rejeté.

Art. 4. — La Ville de Cholet est condamnée à tous les dépens de première instance et d'appel.

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF : Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. TOME V. — N° 20. 17 MAI 1919.

Avis. — Chronique. — Société française des Electriciens, p. 713-714.

Section scientifique et technique. — Oscillations électriques sous l'action de forces données de forme quelconque, par John R.-CARSON ; suivi d'une note par J.-B. POMEY, p. 715. — Revues, analyses et informations : Variation du pouvoir inducteur spécifique de quelques substances avec la température, soit seules, soit incorporées au papier, p. 718 ; Sur les coefficients d'aimantation des gaz paramagnétiques et la théorie du magnéton, p. 720 ; Sur une analogie électrotechnique des oscillations entretenues, p. 721 ; Sur la polarisation en courant alternatif, p. 722.

Section industrielle. — A travers les stations électriques dévastées. Les Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt (usines d'Homécourt), par Auguste PAWLOWSKI, p. 723. — Sur les redresseurs à vapeur de mercure, p. 724. — Les tarifs de vente au kilowatt-heure de l'énergie pour l'éclairage sont devenus insuffisants, par Max DU BOIS, p. 725. — Revues, analyses et informations : Le laminoir de la « Liberté » de la Compagnie des Aciéries Carnegie (Etats-Unis), p. 726 ; Les balais en charbon, p. 729 ; Une industrie nouvelle : la soudure électrique, p. 732.

Section économique et financière. — De quelques matières premières nécessaires à l'industrie électrique : Le Mica *(suite)*, par Désiré PECTOR, p. 735. — Assemblées générales : Comptoir national d'Escompte de Paris, p. 740.

Section de législation. — La réclamation contre la patente et le moyen de différer le paiement, par Paul BOUGAULT, p. 741 Législation, jurisprudence, réglementation : Taxes sur les paiements des droits de statistique et de la valeur des marchandises importées, p. 743 ; Loi relative au maintien à titre définitif des travaux publics exécutés pendant la guerre, p. 744 ; Projet de loi pour une ouverture de crédit de cent millions aux petits commerçants démobilisés, p. 744.

AVIS. — *Messieurs les actionnaires de la* Revue générale de l'Electricité *sont convoqués en* **Assemblée générale ordinaire annuelle**, *conformément à l'article 30 des statuts, pour le* **mercredi 11 juin 1919,** *à 11 heures, au siège social, 12, place de Laborde, à Paris.*

L'assemblée générale se compose de tous les actionnaires quel que soit le nombre d'actions possédé par eux.

Tout actionnaire, pour avoir le droit d'assister ou se faire représenter à l'assemblée générale, doit être inscrit sur les registres de la Société seize jours au moins avant celui fixé pour la réunion.

Société française des Electriciens. — Séance du mercredi 7 mars 1919. — Le nouveau président de la Société, M. N. Mazen, ingénieur en chef du Matériel et de la Traction des Chemins de fer de l'Etat, fit d'abord l'éloge de M. Devaux-Charbonnel que la mort a empêché de prendre la présidence de la Société pour l'année 1919-1920. Puis, suivant l'usage de la Société française des Electriciens qui veut que le nouveau président fasse une communication sur le sujet qui lui était le plus familier M. N. Mazen fit une conférence sur : « La grande traction électrique ». Aucun ingénieur n'était mieux désigné que M. N. Mazen pour traiter un tel sujet.

Jusqu'ici on peut dire qu'aucune électrification générale de réseau ait été réalisée ; il existe bien quelques électrifications importantes, surtout en Italie et aux Etats-Unis, mais qui ne peuvent être considérées comme touchant des réseaux entiers. Le problème de l'électrification consiste à équiper les différents tronçons qui composent le réseau, suivant les besoins du service qu'ils ont à remplir, et à fournir en plus de l'énergie nécessaire à la traction des trains, l'énergie destinée à l'éclairage des gares et à la force motrice dont elles peuvent avoir besoin.

Le trafic et la vitesse sont des fonctions de la nature de chaque ligne ; on peut cependant ramener à un nombre de types déterminé les trains à mettre en circulation :

1° Les trains à grands parcours s'arrêtant peu souvent et marchant à de très grandes vitesses. Ces trains peuvent assurer des services internationaux ou, tout au moins, peuvent circuler sur différents réseaux, ils sont composés généralement de voitures de toutes provenances ; on ne peut envisager, pour les remorquer, que l'emploi de locomotives électriques jouant le même rôle que les locomotives à vapeur actuelles. Une difficulté importante se présente alors avec la traction électrique : c'est le problème du chauffage des trains. Avec les locomotives à vapeur, on se sert de la vapeur de la chaudière pour chauffer le train, toutes les voitures actuelles servant à l'exploitation des grandes lignes possèdent un équipement de chauffage à vapeur ; si on substitue la locomotive électrique à la locomotive à vapeur, sur certaines lignes, il faudra placer sur la machine électrique une chaudière destinée au chauffage des trains, ou employer un fourgon spécial portant cet appareil.

2° Les trains locaux, directs, semi-directs ou omnibus. Ces trains peuvent être remplacés par un ensemble d'automotrices à unités multiples et de remorques qui se plie avec toute la facilité désirable aux exigences de l'exploitation.

3° Les trains de marchandises. Pour ces trains la locomotive à vapeur actuelle permet d'atteindre les efforts maxima compatibles avec la résistance des attelages européens (30 t avec les attelages ordinaires et 50 t avec les atte-

Digitized by Google

ages renforcés, tandis que l'attelage américain est prévu pour 150 t). La traction électrique sera cependant avantageuse parce qu'elle permettra le poussage par locomotive de queue et même l'addition d'une locomotive au milieu du train, solutions peu recommandables avec la traction à vapeur, mais qui, avec la traction électrique, seraient très facilement applicables et augmenteraient considérablement la capacité de trafic des lignes de montagne et surtout de celles à voie unique. En résumé, la traction électrique est très intéressante partout où on peut employer des unités motrices multiples, elle permet alors la reversibilité des rames et leur fractionnement, un démarrage rapide et, par suite, une vitesse commerciale élevée sans une vitesse maximum trop élevée; pour les trains de grandes lignes, elle ne permettra pas, sauf dispositifs spéciaux et coûteux, de dépasser les vitesses obtenues avec les locomotives à vapeur; pour les trains de marchandises elle semble intéressante par l'emploi possible de plusieurs locomotives par train, mais ne sera avantageuse que si les conditions économiques sont en sa faveur.

Dans beaucoup de cas, l'électrification n'est à envisager que comme moyen d'utiliser les forces hydrauliques et d'économiser le charbon.

M. N. Mazen a étudié ensuite les systèmes de traction électrique à employer. Les tronçons d'un réseau de chemins de fer ont environ 15 à 30 km de longueur, il s'ensuit que la tension de travail devra être assez élevée et imposera le choix entre les trois systèmes suivants : le triphasé, le monophasé et le continu à haute tension.

M. Mazen rejette immédiatement le triphasé pour les raisons suivantes : manque de souplesse des moteurs asynchrones, complication de la ligne de travail et surtout nécessité d'interrompre le service plusieurs heures par jour pour assurer l'entretien des lignes aériennes, ceci étant complètement incompatible avec une exploitation intense.

Le monophasé permet d'alimenter les moteurs à la tension correspondant aux meilleures conditions de fonctionnement et de faire varier cette tension pour le réglage de la vitesse; l'ensemble est robuste et satisfaisant. Malheureusement les équipements électriques du matériel roulant sont lourds et encombrants, ce qui est très gênant pour les automotrices.

Le continu doit être employé à une tension suffisamment modérée, la tension de 3 000 v semble convenir particulièrement. La régulation se fait par le système série parallèle, il en résulte des pertes dans les résistances au démarrage; des précautions spéciales sont à prendre en ce qui concerne l'isolation. Les équipements sont relativement légers et peuvent fournir une exploitation plus économique que le monophasé.

En dehors de ces trois systèmes principaux, on peut encore citer le système mono-triphasé, le système Ward-Léonard, et le système à courant redressé Auvert-Ferrand. Ces derniers systèmes sont un peu complexes et peu applicables sur les automotrices.

La grosse difficulté, en traction électrique, consiste en l'équipement de la ligne de travail. Sur toutes les lignes à double voie il est indispensable de rendre complètement indépendants l'un de l'autre les équipements électriques des deux voies, afin de pouvoir faire voie unique en cas de besoin. Dans les gares de marchandises et de triage, toutes les voies parallèles doivent également être indépendantes les unes des autres.

M. Mazen rappela également les phénomènes de perturbations causés par les lignes aériennes de traction à courant alternatif avec retour par les rails aux lignes à courant faible qui les longent, et les différents moyens employés pour les combattre. Avec le courant continu on n'est pas complètement à l'abri de ces perturbations qui sont alors causées par les variations de débit et les harmoniques de denture et les phénomènes d'électrolyse interviennent. On a cherché à rapprocher les conducteurs d'aller et de retour, divers systèmes sont proposés et méritent d'être examinés de près.

M. Mazen donna également quelques renseignements sur la récupération, surtout intéressante sur les lignes à fortes rampes et à arrêts fréquents. Il montra aussi que la transformation du triphasé 50 p : sec, qui est le courant primaire généralement adopté, en monophasé 15 p : sec ou en continu sont deux opérations qu'on peut pratiquement considérer comme identiques, il n'y a donc pas avantage, à ce point de vue à choisir un système plutôt que l'autre.

Le conférencier examina ensuite le côté économique du problème de l'électrification des grands réseaux. Le matériel roulant, y compris son équipement électrique, coûtera sensiblement la même chose que le matériel roulant à vapeur, mais il y aura en plus tous les frais d'équipement de la voie des sous-stations, des usines, des lignes de transport d'énergie. Il faudra donc immobiliser des capitaux beaucoup plus importants, cette augmentation pouvant être réduite dans le cas des lignes neuves, la traction électrique permettant d'adopter des tracés beaucoup plus durs que la traction à vapeur. Pour que l'opération soit bonne, il faudra que les bénéfices d'exploitation, tout compris, soient équivalents au bénéfice avec la traction à vapeur, il faudra donc que la traction électrique produise une augmentation de la capacité et du trafic des lignes.

L'électrification des chemins de fer aura pour conséquence d'améliorer et de développer l'éclairage des gares et l'emploi des appareils de manutention électriques ; elle contribuera au développement des réseaux de distribution et procurera, par l'utilisation des forces hydrauliques, une diminution importante de nos importations de charbon. Mais, si on considère l'économie de combustible, il pourra se présenter des cas où on aura intérêt à réserver l'énergie électrique à des industries autres que celle des chemins de fer et consommant une plus forte proportion de charbon.

Actuellement, comme nous l'avons déjà dit plusieurs fois dans ces lignes, le Gouvernement français s'occupe activement de la question de l'électrification des chemins de fer et a nommé une Commission spéciale qui étudie la question au point de vue technique et économique. Le Gouvernement belge également a nommé une Commission chargée d'étudier la question de l'électrification des chemins de fer belges, dont les travaux ont été placés sous la haute direction de M. N. Mazen, il a été décidé d'équiper, à titre d'essai, la ligne de Bruxelles à Anvers en monophasé.

En terminant, M. N. Mazen a signalé la nécessité d'unifier le système de traction électrique à adopter, mais il se demande si, au point de vue technique, nous sommes en état de le faire. La locomotive à vapeur a rendu des services inappréciables pendant la guerre. Comme le disait Sprague, la traction électrique n'a pas sonné le glas de la locomotive à vapeur. Chacune d'elles a son rôle à remplir et elles contribueront toutes deux également au développement de la civilisation.

Une seconde communication fut faite par M. Gutton, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Nancy, sur « Les progrès récents de la téléphonie sans fil ». Nous n insisterons pas sur cette communication, M. Gutton devant publier dans la « R. G. E. » une série d'articles sur ce sujet.

H. C.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Oscillations électriques sous l'action de forces données de forme quelconque

L'article ci-dessous se rapporte à la théorie de la propagation du courant sur des lignes téléphoniques et télégraphiques; l'auteur montre que l'on peut prendre à volonté comme solution fondamentale, soit celle qui se rapporte au cas où les forces agissantes sont de la forme exponentielle, soit celle qui se rapporte à celui de la force constante brusquement introduite dans le circuit. Mais le cas des forces de forme exponentielle ne diffère pas de celui des forces électromotrices périodiques, au point de vue algébrique, et il permet de tenir compte des équations relatives aux appareils placés aux extrémités. Le cas d'une ligne continue ne diffère de celui d'un réseau que par le nombre des variables, fini dans un cas, infini dans d'autres. La formule de Heaviside, que l'auteur démontre ensuite, s'applique aussi bien, quel que soit le nombre des degrés de liberté du système. La formule finale en est une généralisation, parce que la force agissante est de forme quelconque, mais elle suppose que l'on part toujours du repos. Ajoutons que cet article, que le Colonel Pomey a bien voulu traduire a été remis à la « R. G. E. » le 13 septembre 1918 et que les considérations qui y sont présentées sont exposées déjà depuis plusieurs années dans le cours de l'Ecole Supérieure des Télégraphes. Il est suivi d'une note due à M. le Colonel Pomey.

Dans le numéro du 9 novembre 1918 de la « R. G. E. », M. Abraham Press, dans un article intitulé « Généralisation du théorème du développement de Heaviside », cite avec quelques détails mon propre article sur le même sujet « On a general expansion theoreme of the transient Oscillation of a connected System; Physical Review, sept. 1917, p. 217 ». M. Press dit que je n'ai réussi qu'en partie à généraliser le théorème d'Heaviside, puisque les forces appliquées que j'ai considérées sont seulement de forme exponentielle et il propose de donner la solution complète du problème plus général dans lequel les forces appliquées sont de la forme arbitraire la plus générale.

S'il est exact que le traitement que j'ai fait du problème se rapporte explicitement aux forces qui peuvent être exprimées par des fonctions exponentielles du temps, je me rendais parfaitement compte de la possibilité d'étendre ma formule à des forces quelconques et dans une note, au bas de la page 219, je disais brièvement la méthode à employer pour l'étendre au cas de forces appliquées arbitraires $f(t)$, en faisant remarquer que le traitement explicite de ce cas était réservé pour un article ultérieur. En fait, à l'époque où mon article fut rédigé, à la date du 15 novembre 1916, j'avais déjà généralisé la formule de façon à comprendre le cas de forces arbitraires. Pour des motifs divers, la formule explicite quand les forces appliquées sont de la forme $f(t)$ n'était pas comprise dans mon article de la « Physical Review, » mais elle est déduite et complétement discutée dans un article plus complet qui n'attend plus que d'être publié. En présence de l'article de M. Press, cependant, il me semble convenable de publier la formule générale, en même temps qu'une courte déduction dans les pages de la « R. G. E. ». La déduction de la formule générale en partant de l'équation (18) de la « Physical Review » est d'une remarquable simplicité et la formule est en elle-même d'un importance fondamentale.

La formule en question peut être démontrée comme suit :

Soit $f(t)$ la force électromotrice arbitraire qu'on fait agir sur le système ou réseau, à partir de l'époque $t = 0$. C'est pour des motifs de convenance particulière que la formule est donnée dans le langage des systèmes électriques. Sa signification dynamique générale est cependant immédiate et évidente.

Soit $A(t)$ le courant, exprimé en fonction du temps qui circule dans une branche quelconque du réseau en tant que produit par l'unité de la force électromotrice, égale à zéro avant l'époque $t = 0$, et égale à l'unité après le temps t. Alors, si $I(t)$ désigne le courant qui est produit par la force électromotrice appliquée $f(t)$, la formule fondamentale en question est

$$I(t) = \frac{d}{dt}\int_0^t f(\lambda)\, A(t-\lambda)\, d\lambda, \qquad (1)$$

laquelle peut aussi être écrite sous la forme

$$I(t) = \frac{d}{dt}\int_0^t f(t-\lambda)\, A(\lambda)\, d\lambda. \qquad (2)$$

D'autres formes évidemment équivalentes et quelques

Digitized by Google

fois plus commodes de la formule fondamentale sont

$$\begin{aligned} I(t) &= A(o)\,f(t) + \int_0^t f(\lambda)\,A'(t-\lambda)\,d\lambda, \\ &= A(o)\,f(t) + \int_0^t f(t-\lambda)\,A'(\lambda)\,d\lambda, \\ &= f(o)\,A(t) + \int_0^t f'(\lambda)\,A(t-\lambda)\,d\lambda, \\ &= f(o)\,A(t) + \int_0^t f'(t-\lambda)\,A(\lambda)\,d\lambda. \end{aligned}$$

Dans ces formules l'accent indique une dérivation par rapport à l'argument, ainsi

$$A'(\lambda) = \frac{d}{d\lambda} A(\lambda).$$

Une pleine discussion et application de la formule fondamentale sera donnée dans mon prochain article; pour le moment, il suffit de remarquer que cette formule s'est trouvée être de la plus grande importance et d'une utilisation très pratique et qu'elle a conduit à d'importantes applications de la théorie des équations intégrales du problème général des oscillations des systèmes électriques.

La fonction $A(t)$ qui ne dépend que des constantes et connexions du système ou du réseau, mais pas du tout du type de la force électromotrice appliquée, est d'une importance fondamentale telle et se présente si fréquemment dans les recherches où je suis actuellement engagé, que je me hasarde à l'appeler l'admittance indiciale du système.

Cette terminologie se justifie par la signification physique et mathématique de la fonction, puisque, physiquement, elle est de la nature d'une admittance dans le sens généralisé, et que, mathématiquement, elle est un indice du système, en ce qu'elle détermine complètement la façon dont il se comporte pour tous les types de forces appliquées.

La déduction à partir de la formule fondamentale peut être maintenant brièvement développée.

Si la force appliquée est exprimable sous la forme $E e^{pt}$, où E et p sont indépendants de t et sont en général des quantités complexes, alors le courant I est donné par l'expression ci-après (1).

$$I(t) = E\left(\frac{e^{pt}}{Z(p)} + \sum_m^m \frac{e^{p_m t}}{(p''_m - p)\,Z(p_m)}\right).$$

Dans cette équation $Z(p)$ est l'impédance symbolique du système et on l'obtient en remplaçant l'opérateur différentiel $\frac{d^k}{dt^k}$ par p^k dans les équations différentielles qui représentent le système, p_m est la racine $m^{ième}$ de $Z(p)=o$, la sommation s'étend à toutes les racines et

$$Z'(p_m) = \left(\frac{d}{dp} Z(p)\right)_{p=p_m}.$$

(1) Voir l'équation 18 dans l'article de la *Physical Review*.

On passe de (4) à (1) par le développement bien connu en fractions simples, qui est discuté dans mon article de la « Physical Review » et qui est applicable à tous les types de fonctions impédance, à savoir :

$$\frac{1}{Z(p)} = \frac{1}{Z(\infty)} + \Sigma \frac{1}{(p-p_m)\,Z'(p_m)}.$$

La substitution de (5) dans (4) donne

$$I(t) = E\left\{\frac{e^{pt}}{Z(\infty)} + e^{pt}\,\Sigma\,\frac{e^{(p_m-p)t}}{(p_m-p)\,Z(p_m)}\right\}.$$

Ce qui est équivalent, comme on le voit aussitôt, à

$$I(t) = E\left\{\frac{e^{pt}}{Z(\infty)} + e^{pt}\int_0^t e^{-p\lambda}\,\Sigma\,\frac{e^{p_m\lambda}}{Z'(p_m)}\,d\lambda\right\}. \quad (6)$$

Maintenant, remarquons que, par définition, l'admittance indiciale est la valeur de I donnée par l'équation (4) quand on fait p égal à zéro et E égal à l'unité, d'où

$$A(t) = \frac{1}{Z(o)} + \Sigma\,\frac{e^{p_m t}}{p_t\,Z_m'(p_m)}. \quad (7)$$

Ceci évidemment se reconnaît comme n'étant rien moins que le théorème du développement d'Heaviside.

Il découle immédiatement de (7). que

$$\frac{d}{dt} A(t) = A'(t) = \Sigma\,\frac{e^{p_m t}}{Z'(p_m)}, \quad (8)$$

et par (5)

$$A(o) = \frac{1}{Z(\infty)}. \quad (9)$$

La substitution de (8) et de (9) dans (6) donne

$$\begin{aligned} I(t) &= A(o)\,E e^{pt} + \int_0^t E\,e^{p(t-\lambda)}\,A'(\lambda)\,d\lambda, \\ &= \frac{d}{dt}\int_0^t E\,e^{p\lambda} A(t-\lambda)\,d\lambda. \end{aligned} \quad (10)$$

Si la force donnée est sinusoïdale, de la forme $E \sin(pt+\theta)$, il est aisé de voir (en écrivant la fonction sinus sous la forme exponentielle), que (10) devient

$$I(t) = \frac{d}{dt}\int_0^t E \sin(p\lambda + \theta)\,A(t-\lambda)\,d\lambda$$

Plus généralement, si la forme donnée est $f(t$, elle peut être exprimée pour des valeurs de $t > o$ en série de Fourier.

$$f(t) = \Sigma_k\,E_k \sin(p_k t + \theta_k),$$

d'où il suit immédiatement que

$$I(t) = \frac{d}{dt}\int_0^t f(\lambda)\,A(t-\lambda)\,d\lambda.$$

ce qui est la formule générale (1).

Digitized by Google

Il est important de remarquer que par la formule (1) la force appliquée et l'admittance indiciale se rapportent de façon semblable et équivalente au courant qui circule dans le système et que, par une seule quadrature, le problème se réduit à la détermination de cette dernière fonction. Ceci peut s'effectuer de diverses manières, comme, par exemple, en partant du théorème d'Heaviside ou par des séries de puissances qu'on peut déduire dudit développement, ou par une nouvelle méthode qui implique l'application des équations intégrales et qui est discutée dans mon mémoire en préparation. L'intégration indiquée peut, si besoin est, être effectuée par des moyens mécaniques.

Je pense qu'il convient de remarquer que M. Press, dépassant la simple vérification de la formule que j'avais donnée précédemment pour des forces exponentielles, a, en réalité, donné l'expression formelle du problème général, plutôt qu'une *solution*.

La distinction entre la résolution formelle et la solution d'un problème est ce qu'Heaviside a en vue quand il parle des mathématiciens qui se réfugient dans les intégrales définies et on en a un exemple frappant dans l'application de l'intégrale de Fourier au présent problème.

M. T.-C. Fry, de la Western Electric Co de New-York a réussi, en attaquant le problème général, ici envisagé, en appliquant d'une façon élégante l'intégrale de Fourier. Son travail est sur le point d'être publié.

Selon les termes du présent problème, le courant $I(t)$ dû à une force appliquée $(F(t)$ peut être représenté par

$$I(t) = \frac{1}{2\pi i}\int_{-\infty}^{+\infty} f(\lambda)\,d\lambda \int_{i\infty}^{+i\infty} \frac{e^{p(t-\lambda)}}{Z(p)}\,dp.$$

Tandis que cette représentation formelle peut être considérée comme une solution pour le mathématicien pur, elle est, sous la forme indiquée, de nulle valeur pour le physicien ou pour l'ingénieur, puisqu'elle ne lui dit rien de plus que les équations différentielles du problème.

Quoique à un moindre degré, la formule symbolique de Press me semble ouverte à une critique du même caractère, puisqu'il n'a pas fourni de méthode générale permettant de passer de sa formule purement symbolique à une expression facile à interpréter et se prêtant au calcul.

John R. Carson,
ingénieur, American Telephone and Telegraph Co,
New-York, U. S. A.

Nota, — 1° Dans le livre de Vaschy intitulé « Electricité et Magnétisme », t. II, 1890, on trouve page 54, § 205, la formule

$$i = \int_0^t \frac{dE}{dt} f(t-\tau)\,dt. \qquad (1)$$

Le paragraphe est intitulé : Cas d'une force électromotrice variable sur une ligne.

La méthode des signaux bridés repose sur cette formule. Cette méthode bien connue des télégraphistes se trouve exposée dans le traité de télégraphie sous-marine de Wünschendorf, p. 467.

2° Dans les « Leçons sur l'électricité et le magnétisme » de Mascart et Joubert, t. I, 1882, on trouve § 233, la formule qui donne le potentiel U après une durée d'électrisation τ

$$U = \frac{1}{\sqrt{\pi}}\int_0^t F(\theta)\,\varphi(t-\theta)\,d\theta,$$

lorsque le potentiel initial est une fonction continue $F(\theta)$ du temps θ compté à partir du moment où l'électrisation commence.

Ajoutons que ces divers auteurs ne donnent pas ces formules comme nouvelles.

3° Dans son cours à l'Ecole Polytechnique, M. Hadamard expose comme un résultat bien connu, que si l'on a un système d'équations différentielles linéaires à second membre, l'intégration de ce système se ramène aisément aux quadratures, quand on connaît la solution du système sans second membre.

Dans le cas particulier des équations à coefficients constants, Jordan donne la solution au § 130, p. 158, de son cours d'analyse, 1887.

La formule intéressante pour les électriciens se trouve donc implicitement contenue dans des travaux très anciens et bien connus. C'est pourquoi je n'avais pas songé à publier la formule que je démontrais dans mon cours. Son seul intérêt réside en ceci : c'est qu'elle donne un calcul achevé, d'après certaines conditions initiales, au lieu de se borner à indiquer des opérations à effectuer. Cette formule résume un calcul analogue à celui des coefficients de la formule d'interpolation de Lagrange. Comme celle-ci, elle ne conserve sa simplicité que dans les cas des racines inégales.

J.-B. Pomey,
Ingénieur en Chef des Télégraphes.

Digitized by Google

Revues, analyses et informations

Variation du pouvoir inducteur spécifique de quelques substances avec la température, soit seules, soit incorporées au papier (1).

Les électriciens du laboratoire Westinghouse, désirant obtenir quelques indications rapides sur les variations de la constante diélectrique de certains isolants avec la température, soit en les utilisant seuls, soit après en avoir imprégné du papier, ont adopté la méthode du pont pour la mesure des capacités. La matière à étudier forme le diélectrique d'un condensateur à armatures en fer, maintenues à un écartement constant par des cales de verre. On a trouvé pour la capacité théorique de ce condensateur à lame d'air 0,000 185 μf et par mesure directe, 0,000 202 μf et on attribuait à la masse isolante intercalée la température même des armatures. Avec le papier imprégné, on superposait trois couches de chacune 0,0038 cm d'épaisseur ; l'imprégnation augmentait l'épaisseur du papier d'environ 10 à

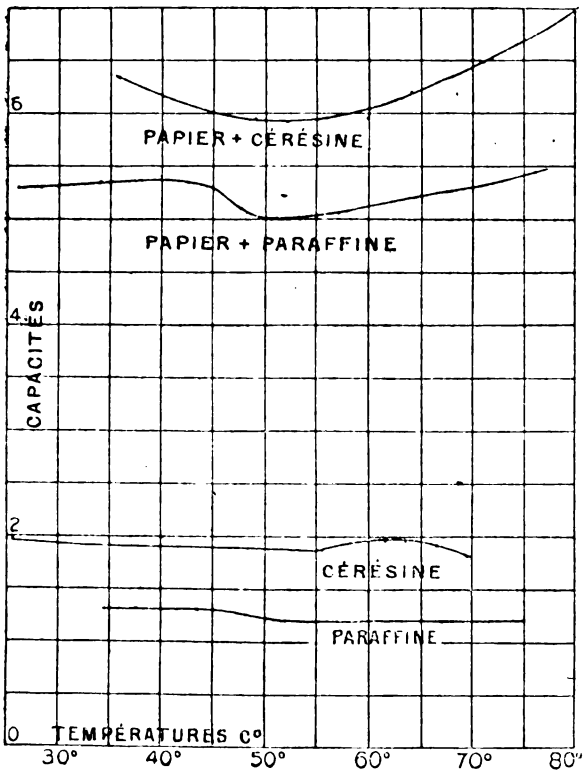


Fig. 1. — Variations du pouvoir inducteur de la paraffine et de la cérésine avec la température, soit seules, soit incorporées au papier.

35 pour 100 ; on mesurait cette augmentation chaque fois que c'était possible. La couche de la matière isolante employée seule avait l'épaisseur des cales de verre, soit 0,0254 cm. Le deuxième bras du pont recevait un condensateur à air étalonné et sur les autres, on disposait deux résistances de 9 000 ohms chacune.

Les courbes de la figure 1 montrent les résultats obtenus avec la paraffine et la cérésine, soit seules, soit incorporées à du papier. Dans le premier cas, il n'y a pas de changement saillant dans le pouvoir inducteur avant et après le point de fusion ; mais, une fois incorporées au papier, ces deux matières indiquent un minimum très net de capacité au point de fusion, suivi d'un accroissement continu avec l'élévation de température. Sur la figure 2, au contraire, on

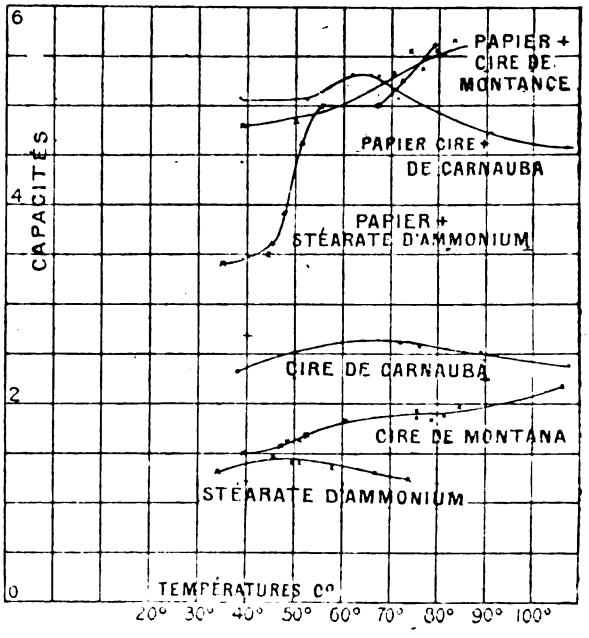


Fig. 2. — Variations du pouvoir inducteur de la cire de Carnauba, de la cire de Montana et du stéarate d'ammonium avec la température, soit seules, soit incorporées au papier.

remarque que, pour la cire de Carnauba, la cire de Montana et le stéarate d'ammonium, il y a une différence notable entre les constantes diélectriques des substances expérimentées seules ou après incorporation au papier. A ce dernier cas correspondent les variations les plus marquées avec la température. On voit aussi que, pour ces trois substances, quand on élève la température, la constante diélectrique passe par un maximum, alors que les deux premières présentaient un minimum. — La cérésine, dont on fait très souvent usage pour falsifier la cire des abeilles, est le produit de la distillation dans la vapeur surchauffée de la cire fossile purifiée par l'acide sulfurique et le noir animal ; c'est une paraffine fondant à 60°-65°. La cire de Carnauba est une cire végétale extraite des palmiers qui croissent dans le nord du Brésil. La cire de Montana doit probablement son nom à la province de Montana (E.-U.) qui la produit.

(1) H.-C.-P. Weber et T.-C. Mac Kay. *Journal of the Franklin Institute*, septembre 1918, t. CLXXXVI, p. 374-376, 2 fig.

Digitized by Google

Sur les coups de bélier dans les conduites de diamètre variable et formées de parties tronconiques.

Comme suite à une communication antérieure (1), M. G. Guillaumin a adressé à l'Académie des Sciences la note suivante (2) :

I. — Dans une précédente note, nous avons vu que, comme pour les conduites cylindriques, le coup de bélier au distributeur d'une conduite tronconique résultant d'une fermeture complète dans un temps très court était égal à $\frac{av_0}{g}$. Nous indiquons ci-dessous comment on peut calculer les valeurs du coup de bélier obtenu dans ces conditions au distributeur pendant les périodes successives.

Soit y_k le coup de bélier pendant la $k^{\text{ième}}$ période ; on pose d'une manière générale

$$y(t) = y[\tau + (k-1)\theta] = y_k(\tau); \quad 0 < \tau < \theta.$$

On trouve

$$y_k = \frac{av_0}{g} e^{-a\mu\tau} P_{k-1}(a\mu\tau),$$

les P étant des polynomes de degré égal à leur indice et définis de la manière suivante :

$$\frac{dP_k}{d\tau} = 2(P_{k-1} - P_{k-2} + \dots),$$

$$P_0 = +1; \quad P_k(0) = 2(-1)^k + e^{-\omega} P_{k-1}(\omega);$$

$$\omega = a\mu\theta = 2\left(\frac{r_1}{r_0} - 1\right),$$

r_0 et r_1, désignant respectivement le rayon de la conduite aux extrémités aval et amont.

La discontinuité du coup de bélier en fin de période vaut

$$y_{k+1}(0) - y_k(\theta) = 2(-1)^k \frac{av_0}{g},$$

comme pour les conduites de diamètre constant.

Pour la première période, on a, en particulier,

$$y_1(\tau) = \frac{av_0}{g} e^{-a\mu\tau}; \quad y_1(\theta) = \frac{av_0}{g} e^{-\omega}.$$

II. — Appliquons maintenant les équations générales établies précédemment à l'étude du passage d'une onde simple à la jonction de deux conduites de conicités différentes (ajutages parallèle-convergent, divergent-convergent, etc.).

En affectant l'indice 1 aux variables afférentes au tronçon amont et désignant par R le rayon de la section de jonction, on a, pour $t > \frac{\theta}{2}$,

$$y = \frac{f'\left(t - \frac{x}{a}\right) - \varphi'\left(t + \frac{x}{a}\right)}{1 + \mu x}$$

$$u = u_0 - \pi g r_0^2 \left\{ \mu \left[f\left(t - \frac{x}{a}\right) - \varphi\left(t + \frac{x}{a}\right) \right] + \frac{1 + \mu x}{a} \left[f'\left(t - \frac{x}{a}\right) + \varphi'\left(t + \frac{x}{a}\right) \right] \right\}$$

et

$$y_1 = \frac{f'_1\left(t - \frac{x_1}{a_1}\right)}{1 + \mu_1 x_1}$$

$$u_1 = u_0 - \pi g R^2 \left[\mu_1 f_1\left(t - \frac{x_1}{a_1}\right) + \frac{1 + \mu_1 x_1}{a_1} f'_1\left(t - \frac{x_1}{a_1}\right) \right].$$

Tenant compte des conditions de continuité à la jonction, on obtient l'équation différentielle qui détermine φ en fonction de f, connue par hypothèse entre o et θ, avec la condition $\varphi(\theta) = 0$,

$$(1) \quad \varphi'\left(t + \frac{\theta}{2}\right)\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{a_1}\right) + 2\beta\varphi\left(t + \frac{\theta}{2}\right) = 2\beta f\left(t - \frac{\theta}{2}\right) + \left(\frac{1}{a_1} - \frac{1}{a}\right) f'\left(t - \frac{\theta}{2}\right),$$

en posant

$$2\beta = \mu_1 - \mu\frac{r_0}{R}.$$

Supposant maintenant $a = a_1$, faisant $t = \frac{\theta}{2} + \tau$ et admettant que l'onde simple est due à une fermeture brusque à l'aval, on a

$$f(\tau) = \frac{v_0}{\mu g}(1 - e^{-a\mu\tau}),$$

$$\varphi'(\theta + \tau) = \frac{av_0}{g} \frac{\beta}{\beta - \mu}(e^{-\mu\tau} - e^{-a\beta\tau}),$$

Si μ_1 augmente indéfiniment par valeurs positives (conduite complètement ouverte à l'amont), on retrouve, pour l'onde de retour,

$$\varphi'(\theta + \tau) = \frac{av_0}{g} e^{-a\mu\tau}.$$

Si au contraire μ et μ_1 sont des nombres très petits, on peut mettre φ' sous la forme

$$\varphi'(\theta + \tau) = \frac{a^2 v_0 \beta}{g}\left[\tau - a(\mu + \beta)\frac{\tau^2}{2} + \dots\right].$$

Les oscillations de pression à la section de jonction sont donc amorties ou amplifiées suivant que la partie amont est plus ou moins divergente que la partie aval ($\beta \lesseqgtr 0$).

Si, dans l'équation (1) précédente, on fait $\beta = 0$ (conduite à profil continu), mais si l'on suppose, par contre, a différent de a_1, on obtient

$$\varphi'(\theta + \tau) = \frac{a - a_1}{a + a_1} f'(\tau),$$

tout comme pour les conduites à section constante.

III. — Lorsque le distributeur est complètement fermé, le coup de bélier satisfait à l'équation

$$y(t) + y(t - \theta) + a\mu \int_{t-\theta}^{t} y(t)\, dt = 0,$$

qui est à rapprocher de celle obtenue par M. de Sparre dans le cas des conduites formées de trois tronçons (1).

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 12 avril 1919, t. v, p. 549-559.

(2) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CLXVIII, p. 723-726.

(1) *Comptes rendus*, 1917, t. CLXV. — Voir aussi : *Revue générale de l'Électricité*, 30 juin 1917, t. I, p. 1016.

Digitized by Google

De cette équation on déduit aisément celle qui donne la période propre d'oscillation ε de la conduite

$$\pi = \frac{2\pi\theta}{\varepsilon} - 2 \text{ arc tang } \frac{a\mu\varepsilon}{2\pi}.$$

La quantité μ étant toujours très petite, on peut écrire, sans erreur sensible,

$$\varepsilon = 2\theta\left(1 - \frac{2a\mu\theta}{\pi^2}\right) = \frac{4l}{a}\left[1 - \frac{4(r_1 - r_0)}{\pi^2 r_0}\right].$$

On voit donc que la période propre d'oscillation d'une conduite tronconique est inférieure ou supérieure à $2\theta = \frac{4l}{a}$, suivant que la conduite est divergente ou convergente vers l'amont.

Sur les coefficients d'aimantation des gaz paramagnétiques et la théorie du magnéton.

Comme suite à la communication faite sous ce titre par MM. Bauer et Piccard, à la séance du 7 mars de la Société française de Physique et reproduite dans ces colonnes (1), M. Langevin a présenté, à la séance du 21 mars, les observations ci-dessous :

Les moments magnétiques moléculaires ont été calculés par M. Bauer à partir des susceptibilités moléculaires χ_m en utilisant la formule

$$(1) \qquad M = \sqrt{3RT\chi_m}$$

à laquelle conduit la théorie cinétique ancienne. Or, il n'est pas douteux que cette théorie doit être modifiée pour rendre compte des faits, en particulier dans le domaine des basses températures. Elle implique en effet l'exactitude de la loi de Curie d'après laquelle le produit $\chi_m T$ doit être indépendant de la température. Il en est bien ainsi pour la plupart des substances paramagnétiques tant que la température n'est pas trop basse, mais des expériences récentes de MM. Kamerlingh Onnes et Oosterhuis ont montré que le produit $\chi_m T$, au lieu de rester constant, diminue aux très basses températures, de manière beaucoup plus marquée d'ailleurs pour les sels anhydres (sulfate de manganèse, sulfate ferrique) que pour les sels cristallisés avec de l'eau (sulfate de manganèse, sulfate ferreux). Seul, le sulfate de gadolinium hydraté n'a présenté aucun écart à partir de la loi de Curie jusqu'à la température de 1°9 absolu, la plus basse qui ait été obtenue jusqu'ici. Il est intéressant de signaler en passant qu'à cette température où l'agitation thermique est considérablement ralentie, M. Kamerlingh Onnes (2) a pu suivre, en fonction du champ, la courbe d'aimantation paramagnétique jusque dans la région incurvée prévue par la théorie, alors que d'ordinaire il n'est pas possible de s'écarter sensiblement de la tangente à l'origine, c'est-à-dire de la loi de proportionnalité de l'aimantation au champ magnétisant.

La diminution généralement observée du produit $\chi_m T$ aux basses températures ne saurait s'expliquer par l'intervention des actions mutuelles entre aimants moléculaires, c'est-à-dire par un ferromagnétisme naissant, puisque celui-ci produirait un effet de sens inverse. L'introduction des quanta permet au contraire de représenter exactement les faits.

On sait que le développement de l'hypothèse des quanta a donné récemment des résultats tout à fait remarquables, principalement du côté spectroscopique. Non seulement M. Bohr (1) a pu retrouver les séries spectrales de l'hydrogène et de l'hélium avec les valeurs exactes des constantes de Rydberg et M. Debye (2) la dispersion de l'hydrogène, mais M. Sommerfeld (3), en formulant l'hypothèse de manière à la rendre applicable aux systèmes à plusieurs degrés de liberté et en introduisant la dynamique de la relativité, a pu expliquer la structure des raies de l'hydrogène et de l'hélium ainsi que celle du spectre des rayons de Röntgen pour les divers éléments. En suivant la même voie, M. Epstein (4) prévoit la décomposition exacte des raies de l'hydrogène dans le champ électrique (phénomène de Stark); le phénomène de Zeeman est également en bonne voie d'interprétation. Enfin M. Einstein (5) a montré récemment comment il est possible de mettre l'énoncé de M. Sommerfeld sous une forme à la fois plus générale et plus satisfaisante au point de vue des conditions d'invariance.

Tout ceci, joint aux résultats plus anciens (spectre du corps noir, vitesses des émissions photo-électriques, chaleurs spécifiques des solides et des gaz), impose l'obligation de poursuivre dans toutes les directions les conséquences d'une hypothèse si féconde, en dépit, ou peut-être à cause des obscurités qui subsistent à sa base.

La tentative la plus intéressante d'application à la théorie du paramagnétisme est due à M. Reiche (6). En faisant intervenir deux constantes, le moment magnétique moléculaire (comme dans la théorie ancienne), et de plus le moment d'inertie de l'aimant moléculaire, on peut représenter exactement les résultats expérimentaux pour les substances indiquées plus haut avec ce caractère particulièrement satisfaisant que les valeurs des moments moléculaires qui représentent le mieux les observations aux basses températures concordent avec celles déduites de l'observation des solutions de ces mêmes substances à la température ordinaire (30 magnétons pour le sulfate de manganèse anhydre ou cristallisé, 27 magnétons pour le sulfate ferreux cristallisé).

La relation prévue par cette théorie entre la susceptibilité moléculaire et la température se confond, aux températures élevées, avec celle que j'ai donnée et qui est représentée par la formule (1).

Les valeurs auxquelles on est conduit pour les moments d'inertie sont remarquablement faibles surtout pour les substances anhydres. Avant d'en tirer aucune conclusion quant à la nature de l'aimant moléculaire, il est nécessaire de remarquer que la théorie de M. Reiche ne tient pas compte des actions mutuelles, de cohésion en particulier, qui peuvent s'opposer aux changements d'orientation de ces aimants moléculaires dans les milieux solides dont il s'agit ici. Il serait certainement très important à ce point de vue que M. Bauer puisse étendre aux basses températures ses

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 5 avril 1914. t. V, p. 514.
(2) *C. R.*, Amsterdam, 30 mai 1914.

(1) N. Bohr. *Phil. Mag.*, t. XXVI, 1913, p. 857.
(2) P. Debye. *Münch. Ber.*, 1915, p. 1.
(3) A. Sommerfeld. *Ann. de Phys.*, t. LI, 1916, p. 1.
(4) P. Epstein. *Annales de Phys.*, t. L, 1916, p. 507.
(5) A. Einstein. *Verh. de D. Phys. Gesells.*, 11 mai 1917.
On consultera utilement sur ces questions l'excellent résumé de M. Léon Bloch (*Revue générale des Sciences*, mars 1918).
(6) F. Reiche. *Ann. de Phys.*, t. LIV, 1917, p. 401.

Digitized by Google

mesures sur les gaz dans lesquels de semblables actions n'interviendraient pas.

Il est également intéressant de signaler que l'absence dans les métaux d'oscillations thermiques de rotation (déduite de l'observation des chaleurs spécifiques) ne peut s'interpréter que par l'intervention des quanta (valeur élevée des fréquences propres de rotation) et que, par conséquent, la théorie du ferromagnétisme doit nécessairement tenir compte de cette intervention. On pourra peut-être ainsi résoudre certaines difficultés, en particulier celles qui concernent le champ moléculaire de M. Weiss.

Appliquée aux résultats de M. Bauer, la théorie de M. Reiche conduirait à *augmenter* les nombres calculés pour les moments moléculaires, et de quantités du même ordre que les erreurs d'expérience si l'on admet pour les moments d'inertie des molécules gazeuses des valeurs comparables à celles qu'on peut déduire de l'observation des chaleurs spécifiques aux basses températures.

Il ne semble donc pas que l'introduction de la théorie des quanta puisse interpréter le désaccord entre les résultats de M. Bauer et l'hypothèse des magnétons.

Il n'en résulte nullement qu'on doive abandonner cette hypothèse. En dehors des raisons expérimentales sur lesquelles M. Weiss s'est appuyé pour la formuler, il est très important de remarquer que les moments magnétiques des courants particulaires sont proportionnels aux moments de quantités de mouvement dont la théorie des quanta affirme qu'ils varient par degrés discontinus et par multiples entiers d'un même élément. Il est donc vraisemblable que le développement de cette théorie fera prévoir des discontinuités dans les moments magnétiques moléculaires.

Sur une analogie électrotechnique des oscillations entretenues.

Sous ce titre M. P. Janet a présenté à l'une des dernières séances de l'Académie des Sciences (1) la note que nous reproduisons ci-dessous. Il y montre l'analogie des résultats d'une expérience ancienne de M. Aimé Witz sur un moteur et une génératrice avec le phénomène des oscillations entretenues.

L'expérience suivante est bien ancienne et connue de tous les ingénieurs électriciens (2) : Si l'on alimente, au moyen d'une génératrice excitée en série, un moteur à excitation séparée tournant à vide, on voit le moteur se lancer rapidement dans un sens, s'arrêter, repartir en sens inverse, etc. En d'autres termes, on obtient des oscillations parfaitement régulières tant de la vitesse angulaire du moteur que du courant dans le circuit de ce moteur. Il m'a semblé intéressant de signaler les analogies inattendues que présente cette expérience avec les oscillations entretenues si largement utilisées aujourd'hui en télégraphie sans fil, par exemple avec celles qui se produisent dans l'arc de Duddell ou dans les lampes à trois électrodes employées comme oscillateurs. La production et l'entretien des oscillations dans tous ces systèmes tiennent essentiellement à la présence, dans le circuit oscillant, de quelque chose d'analogue à une résistance négative : or, la dynamo-série génératrice se comporte comme une résistance négative, et, d'autre part, le moteur à excitation séparée se comporte comme un condensateur. Il est curieux de constater que ces deux analogies ont été signalées il y a longtemps, la première par M P. Boucherot (1) et la seconde par M. Maurice Leblanc (2). Si l'on se tient dans la partie rectiligne de la caractérisque de la dynamo-série, c'est-à-dire si l'on a

$$e = mi,$$

la machine se comporte comme une résistance *négative* $-m$; et, d'autre part, si, dans une machine à excitation séparée, on désigne par K le moment d'inertie de l'induit et par k le coefficient de proportionnalité entre la force électromotrice et la vitesse angulaire (ou, ce qui revient au même, entre le couple et l'intensité), la machine se comporte comme un condensateur de capacité $\frac{K}{k^2}$. (Les formules de M. Maurice Leblanc, quoique notablement plus compliquées, se ramènent au fond à celle-ci.)

La mise en équation du problème, dans le cas du système matériel indiqué plus haut, est facile. Soit $e = f(i)$ la force électromotrice de la dynamo-série, R et L la résistance et la self-induction du circuit, ω la vitesse angulaire du moteur à excitation séparée; on a évidemment

$$Ri + L\frac{di}{dt} = e - k\omega,$$

$$ki = K\frac{d\omega}{dt};$$

d'où

$$(1) \qquad L\frac{d^2i}{dt^2} + [R - f'(i)]\frac{di}{dt} + \frac{k^2}{K}i = 0.$$

Dans la partie rectiligne de la caractéristique, cette équation devient

$$(2) \qquad L\frac{d^2i}{dt^2} + (R - m)\frac{di}{dt} + \frac{k^2}{K}i = 0.$$

et, dans ce cas, une équation différentielle de même forme régit aussi la vitesse ω

Si $R < m$, c'est-à-dire si la résistance apparente du circuit est négative, et, si, de plus, $(R - m)^2$ est plus petit que $\frac{4Lk^2}{K}$, il se produit un régime oscillatoire à amortissement négatif, c'est-à-dire dont les amplitudes tendraient à augmenter indéfiniment. Mais le phénomène est limité par la courbure de la caractéristique, et en fait, il s'établit des oscillations régulières, non sinusoïdales, régies par l'équation (1) qu'on ne pourrait intégrer que si l'on connaissait la forme explicite de la fonction $f(i)$. Si la résistance est faible, la période des oscillations est, approximativement,

$$T = \frac{2\pi}{k}\sqrt{KL},$$

formule analogue a la formule bien connue

$$T = 3\pi\sqrt{CL},$$

Les formules qui régissent les oscillations dans l'arc de Duddell ou dans les lampes à trois électrodes conduisent à une discussion très analogue à la précédente.

Ajoutons, en terminant, que l'analogie entre une machine (à excitation séparée) et un condensateur, signalée par M. Maurice Leblanc uniquement en vue de son emploi en courant alternatif, se retrouve en toutes circonstances : par exemple, si l'on applique aux bornes d'une telle machine une différence de potentiel constante U, elle se lance jus-

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 14 avril 1919, t. CLXVIII, p. 764-766.

(2) Cette expérience a été réalisée en 1889 par M. A. Witz (*Comptes rendus*, t. CVIII, 1889, p. 1243).

(1) *Bulletin de la Société internationale des Electriciens*, 1904, p. 74.

(2) *Ibid.*, 1899, p. 57 et 59.

Digitized by Google

qu'à atteindre la vitesse $\omega = \frac{U}{k}$. La quantité d'électricité qui passe est égale à $\frac{K}{k^2} U$ et l'énergie (cinétique) emmagasinée est $\frac{1}{2} \frac{K}{k^2} U^2$. Le phénomène est entièrement analogue à la charge d'un condensateur, la quantité $\frac{K}{k^2}$ étant, comme on l'a vu, assimilée à une capacité. De même si, la machine étant lancée, on la met en court-circuit, elle s'arrête brusquement : c'est le phénomène analogue à la décharge d'un condensateur, et l'on peut même imaginer des cas (induit très léger, grande self-induction, forte excitation, résistance faible) ou cette décharge serait, électriquement et mécaniquement oscillante. On pourrait multiplier ces exemples.

Sur la polarisation en courant alternatif.

Nous reproduisons ci-dessous une note de M. P. Vaillant, présentée par M. J. Violle à l'une des dernières séances de l'Académie des Sciences (1).

J'ai signalé dans une précédente note (2) qu'un voltamètre à électrodes de platine inégales, traversé par un courant alternatif, acquiert une force électromotrice de sens déterminé qui croît avec le courant jusqu'à ce qu'il y ait électrolyse. Dans le cas du platine, la petite électrode est constamment positive par rapport à la grande.

Le même phénomène se produit sur d'autres métaux (Zn, Fe, Al, Cu, Pb) et il paraît général. La force électromotrice, comptée positivement quand la petite électrode est positive, passe, lorsqu'on augmente le courant du négatif au positif pour Cu et Al, du positif au négatif pour Fe, reste négative et croissante pour Pb, négative et décroissante pour le laiton, positive et sensiblement constante pour Zn. Elle ne dépasse d'ailleurs jamais quelques millivolts. L'électrolyte employé était NaCl.

La polarisation des électrodes n'est aucunement liée au fait que ces électrodes sont inégales. On a mesuré les polarisations des deux électrodes identiques de mercure par rapport à une électrode indifférente de même surface. Ces polarisations ne sont pas nulles, et bien que toujours égales, elles vont en croissant constamment à mesure que croît la force électromotrice sinusoïdale appliquée.

Il est essentiel de remarquer que la polarisation de sens constant qu'acquiert une électrode en courant alternatif n'est pas un phénomène instantané mais progressif, d'autant plus lent à s'établir que l'électrode est plus grande. Inversement, après interruption du courant, la polarisation disparaît progressivement. Si l'électrode est petite (1 mm²), la dépolarisation, qui dans ce cas est assez rapide, s'accompagne le plus souvent d'un ou même deux changements de signe. Il semble que, sous l'action du courant sinusoïdal, se soient accumulées sur l'électrode des couches d'ions alternativement positifs et négatifs, dont la recombinaison n'est pas immédiate, en sorte que, après suppression du courant, si la dépolarisation est suffisamment rapide, ces couches s'éliminent l'une après l'autre par diffusion avant leur recombinaison complète.

Dans cette hypothèse, on peut concevoir que l'apparition d'une faible polarisation de sens déterminé est due à ce que les capacités de l'électrode ne sont pas tout à fait les mêmes pour les deux ions ; le fait que cette polarisation met un certain temps à s'établir s'expliquerait par l'accumulation progressive de couches alternativement positives et négatives jusqu'à réalisation d'un équilibre statistique, pour lequel les quantités d'ions déposés à chaque période seraient compensées par une disparition équivalente provenant de recombinaison ou de diffusion.

S'il en est ainsi, la capacité de polarisation d'une électrode en courant alternatif doit être très différente de sa capacité mesurée en courant continu. On peut d'ailleurs affirmer a priori qu'elle est beaucoup plus grande. Une électrode de 1 mm² et dont la capacité serait de 1 microfarad (ordre de grandeur des capacités de polarisation en courant continu) opposerait, en effet, au passage de 1 milliampère alternatif, à la fréquence 50, une force contre-électromotrice

$$\frac{10^{-3}}{2\pi \times 50 \times 10^{-6}} = 3,3 \text{ volts},$$

ce qui est évidemment tout à fait en dehors de la réalité.

La capacité de polarisation en courant alternatif est d'ailleurs facile à déterminer. Il suffit de mesurer la différence de potentiel efficace E que présente l'électrode considérée par rapport à une électrode indifférente. Si les deux électrodes sont assez voisines pour qu'on puisse négliger la résistance ρ interposée, la capacité cherchée sera donnée par

$$C = \frac{I}{2\pi F \times E'}.$$

I étant l'intensité efficace du courant et F sa fréquence.

Pour plus d'exactitude, on fera deux mesures, celle de E et celle de la différence de potentiel E' entre l'électrode indifférente et l'extrémité antérieure d'une résistance connue R, sans self-induction, placée dans le circuit et connectée à l'électrode active. On tirera à la fois C et ρ des deux formules

$$E^2 = I^2 \left\{ \rho^2 + \frac{1}{4\pi^2 F^2 C^2} \right\}.$$

$$E'^2 = I^2 \left\{ (\rho + R)^2 + \frac{1}{4\pi^2 F^2 C^2} \right\}.$$

J'ai fait la mesure sur une électrode de platine du type Wollaston ($s = 1,2$ mm²) en déterminant E^2 et E'^2 avec un électromètre Moulin monté en homostatique. Les capacités obtenues sont de plusieurs centaines de microfarads par millimètre carré. Elles dépendent d'ailleurs essentiellement de l'électrolyte employé. Tant qu'il n'y a pas électrolyse, elles sont à peu près indépendantes du courant, d'où résulte que la polarisation alternative $\mathcal{E} = \frac{I}{2\pi FC}$ croît proportionnellement à l'intensité. Dès que l'électrolyse se produit, la capacité de polarisation augmente rapidement, de façon à rester proportionnelle au courant I, autrement dit, à partir de ce moment, la force électromotrice de polarisation $\mathcal{E}$ reste constante. Quant à la résistance ρ, elle varie en sens inverse de I dans la première période, et reste à peu près constante dans la seconde, ses fluctuations paraissant alors uniquement dues à la façon dont se fait le dégagement gazeux.

	SO^4H^2			NaCl			$NaAzO^3$		
I	ρ	C	$\mathcal{E}$	ρ	C	$\mathcal{E}$	ρ	C	$\mathcal{E}$
ampères	ohms	mf	volts	ohms	mf	volts	ohms	mf	volts
0,02	21,6	180	0,37	43,4	145	0,47			
0,04	10,3	188	0,67	35,3	146	0,91			
0,06	13,6	272	0,73	30,7	155	1,29	38,7	176	0,98
0,08	12,6	368	0,73	30,1	203	1,32	36,7	235	0,98
0,10	11,9	455	0,73	33,3	253	1,32	32,6	301	1,00

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* 14 avril 1919, t. CLXVIII, p. 768-770.

(2) *Idem*, CLXVIII, 1919, p. 687.

Digitized by Google

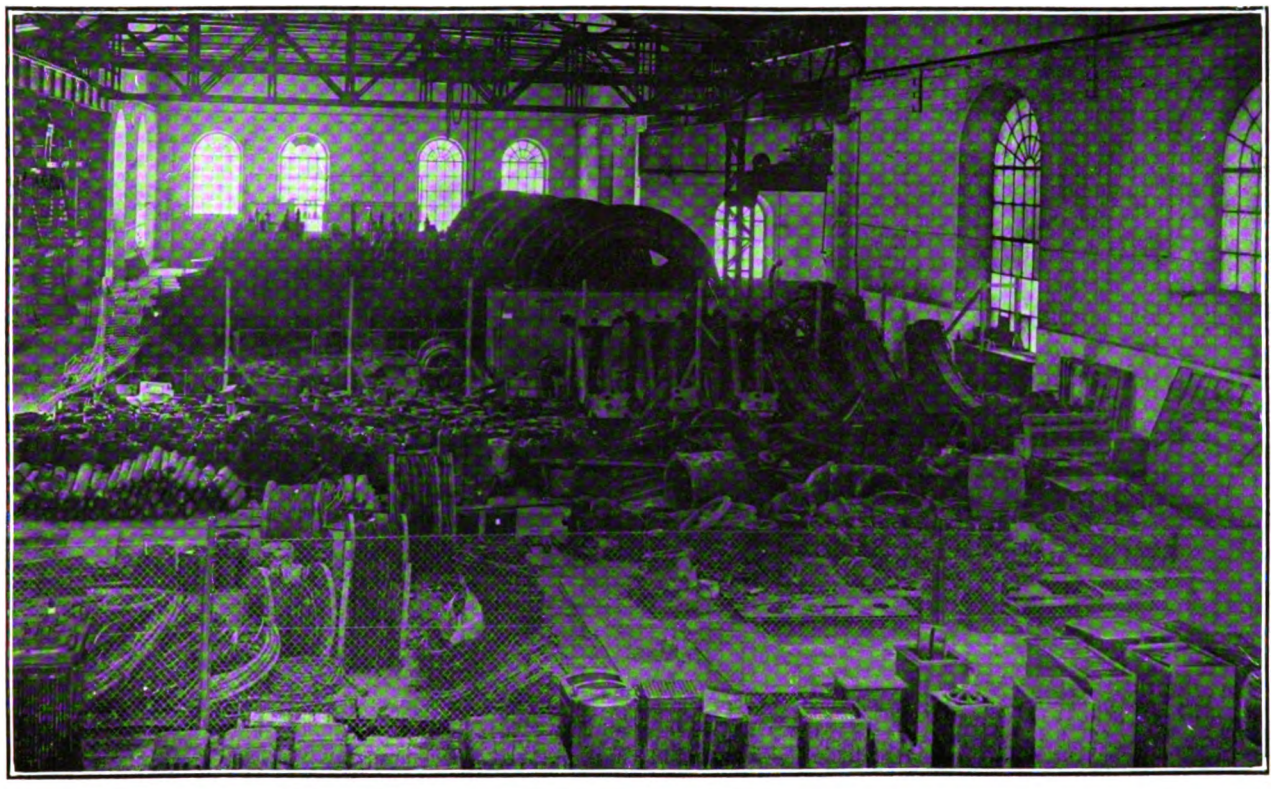


Fig. 1. — Station centrale des Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt (au fond les quatre groupes à moteurs à gaz de 1500 ch).

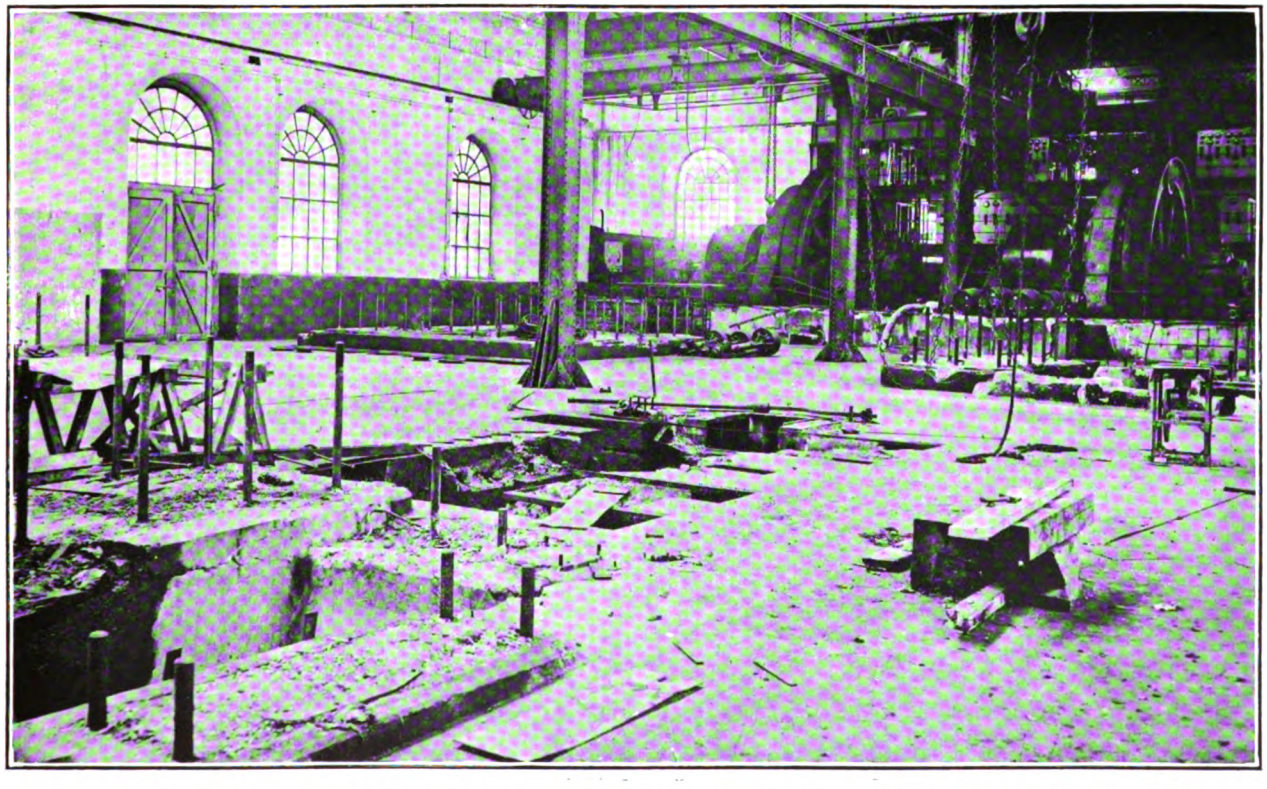


Fig. 2. — Station centrale des Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt (au fond les deux groupes à turbines de 500 kv-a).

Digitized by Google

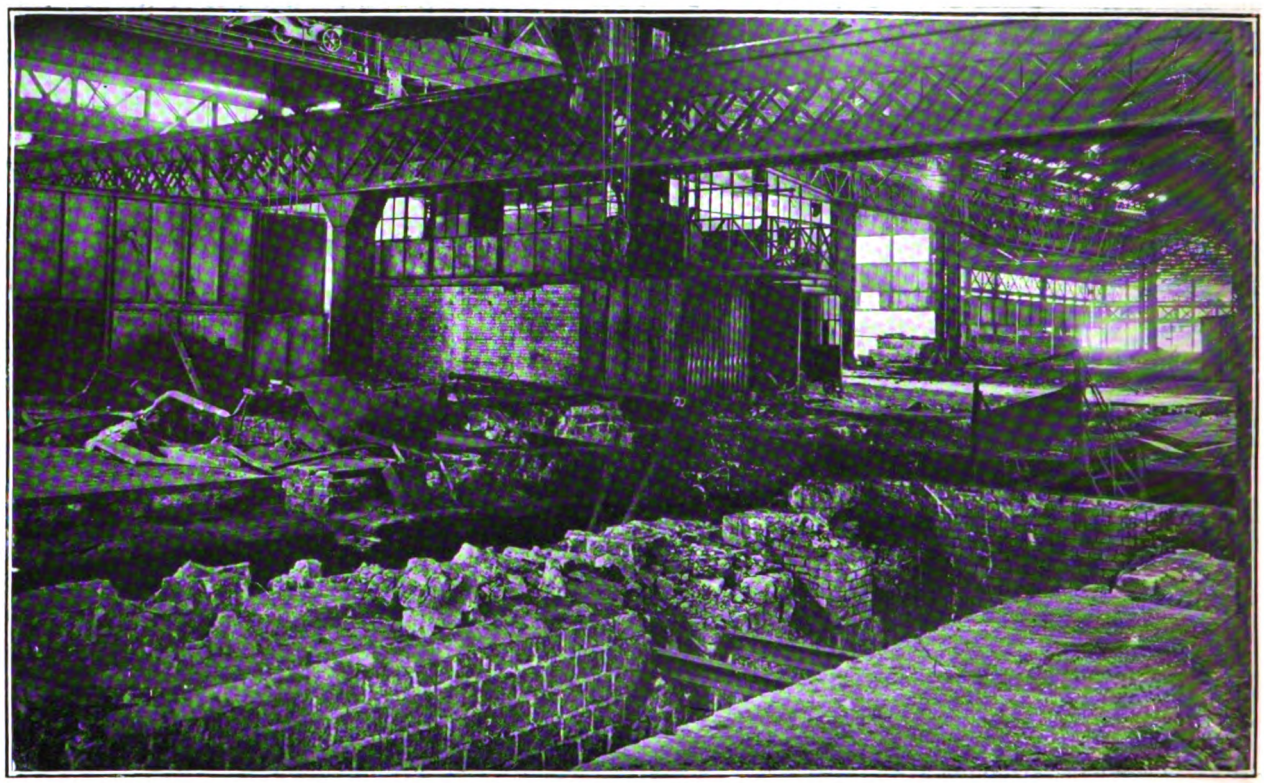


Fig. 3. — Train de laminage trio des Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt.

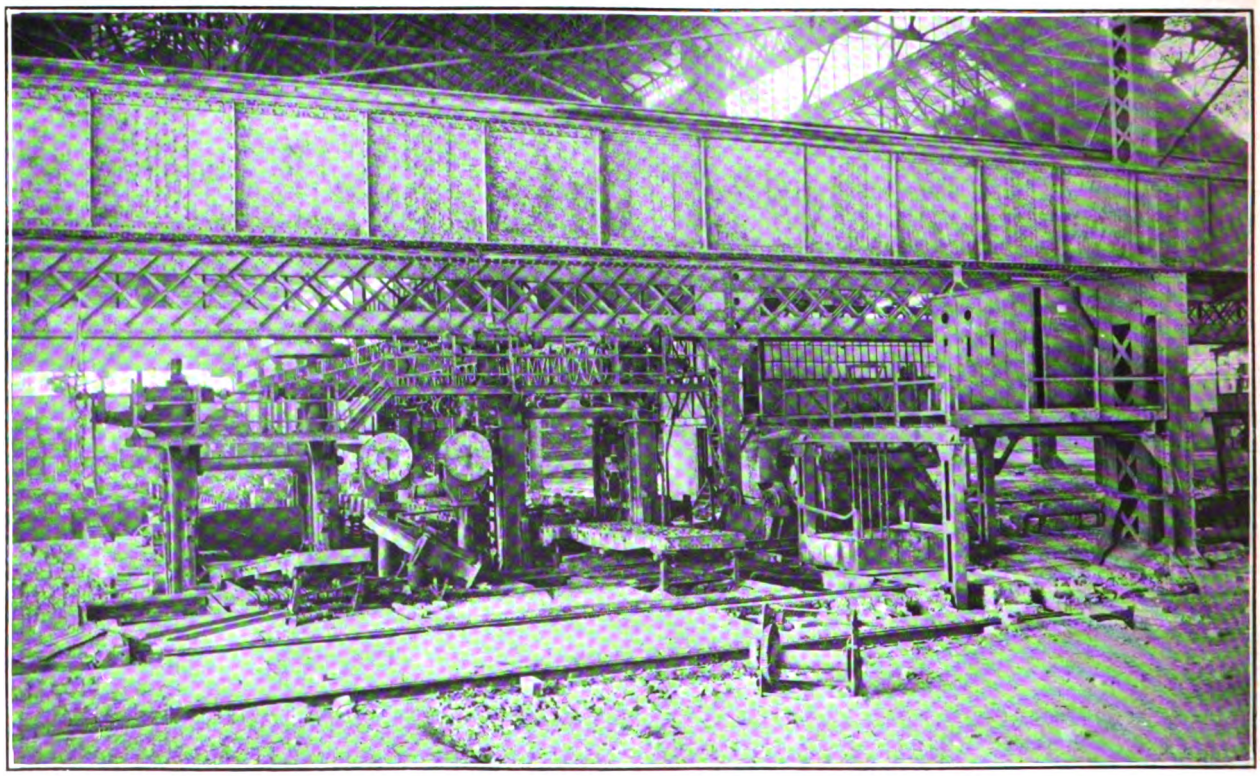


Fig. 4. — **Train trio des Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt.**

LES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES DES FORGES ET ACIÉRIES DE LA MARINE ET D'HOMÉCOURT (Texte p. 723)

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

A travers les stations électriques dévastées

Les Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt (usines d'Homécourt)

Nous avons montré dans notre numéro du 19 avril 1919, t. V, p. 602, ce que les Allemands avaient fait des Acieries de Longwy (Mont-Saint-Martin). Dans les pages qui suivent, l'auteur expose les dévastations systématiques causées par l'ennemi aux usines d'Homécourt, des Forges et Acieries de la Marine et d'Homécourt, dans le même désir de ruiner complètement l'industrie métallurgique française et de supprimer toute concurrence à l'industrie allemande.

Comme les Aciéries de Mont-Saint-Martin, les puissants établissements d'Homécourt, appartenant à la Compagnie des Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt, ont été, à proprement parler, ruinés par les Allemands au cours de leur occupation de quatre longues années.

Construites à partir de 1899 par la Société de Vezin-Aulnoye, pour la mise en œuvre des minerais d'Homécourt, reprises en avril 1903 par la Société de Saint-Chamond, les usines lorraines avaient été considérablement développées durant les dix dernières années qui précédèrent les hostilités. La fabrication de la fonte était assurée par sept hauts-fourneaux modernes de plus de 175 t, pouvant produire plus de 400 000 t par an.

Deux aciéries étaient en plein fonctionnement : l'aciérie Martin avec deux grands fours de 40 t de capacité, installés de 1911 à 1913 et susceptibles de livrer ensemble 250 t de lingots par 24 heures, et l'aciérie Thomas, créée en 1900 ; aux trois convertisseurs de 17 t primitifs avait été adjoint un quatrième appareil, de même capacité, ce qui avait porté à 1 600 t de lingots les possibilités journalières de production.

Les ateliers d'Homécourt jetaient sur le marché des rails, poutrelles, éclisses, profilés, larges-plats, tôles, palplanches métalliques, en outre des demi-produits.

Aussi avaient-ils été pourvus de laminoirs perfectionnés. La division du laminage comprenait essentiellement : 48 fours Pitts, 2 trains blooming actionnés chacun par une machine à vapeur de 6 000 ch, 1 train de 850 à 3 cages, commandé par 2 machines à vapeur drilling de 1 000 ch chacune, 1 train de 635, 1 train trio universel à larges plats, 1 train trio à tôles moyennes, actionnés chacun par un moteur électrique, et toutes les installations accessoires nécessaires aux opérations de laminage.

Enfin, la centrale électrique d'Homécourt était constituée par 2 turbines à vapeur actionnant 2 alternateurs de 500 kv-a par unité, 4 moteurs à gaz de 600 ch avec alternateurs, 4 moteurs à gaz de 1 500 ch avec alternateurs, 2 moteurs à gaz de 2 500 ch avec alternateurs. Au total, la puissance réalisée atteignait donc près de 15 000 ch.

Les Allemands, avec leur esprit de rapine et de destruction, ont dévasté les établissements, et ils n'ont pas épargné les installations électriques, tout au contraire.

Ils ont laissé subsister à la station centrale (fig. 1 et 2) les 2 turbines et les 4 moteurs à gaz de 1 500 ch, avec leurs alternateurs, mais ces appareils auront besoin de sérieuses réparations avant de pouvoir être remis en service.

Les 2 moteurs de 2 500 ch qui, sans doute, faisaient l'objet des convoitises de quelque industriel allemand, ont été démontés, et, en compagnie de leurs alternateurs, ont pris le chemin de la Germanie.

Quant aux moteurs de 600 ch, ils ont été purement et simplement riblonnés et emportés comme ferraille.

Ainsi la puissance de la centrale a été réduite de moitié, et encore doit-on considérer que les machines laissées sur place sont provisoirement inutilisables.

Poursuivant à Homécourt la même tactique qu'à Mont-Saint-Martin ou à Longwy-Bas, les envahisseurs ont fait main basse sur la totalité des appareils du tableau de distribution, les câbles, les fils de distribution. Ils n'ont respecté que les lignes qui pouvaient donner du courant aux ponts roulants et machines dont ils avaient besoin soit pour des démontages, soit pour des destructions.

Si nous pénétrons dans les ateliers, nous devrons constater que les Allemands y ont fait preuve du même vandalisme qu'à Mont-Saint-Martin. Nous bornant, encore une fois, au matériel électrique, nous observerons qu'à l'aciérie Martin, le tableau de distribution et les moteurs ont été « confisqués » ou démolis systématiquement.

A l'aciérie Thomas, le treuil électrique actionnant le monte-charge à chaux a été riblonné. D'ailleurs, cette partie de l'usine a été complètement dévastée. Il n'en reste guère que la carcasse.

Même spectacle aux laminoirs (fig. 3 et 4). Des machines à vapeur, au nombre de quatre, des trois moteurs

Digitized by Google

actionnant les trains de 635 et trios, il ne subsiste plus qu'un seul moteur. Le reste du matériel a été ou brisé ou emporté.

Si la station centrale, allégée comme nous venons de le voir, apparaît vide, les halles des trains électriques offrent un aspect singulièrement plus lamentable. On peut remarquer le soin que les occupants ont pris, en ce qui concerne le train universel, de détruire même les fondations, afin de rendre toute reprise du travail impossible sans de longues réparations. On dirait qu'un tremblement de terre a affecté les usines d'Homécourt, comme celles de Mont-Saint-Martin. Ici, comme là, tout est à refaire, et la restitution des appareils volés ne suffirait pas à permettre une remise en marche. Il faudra, de toute évidence, plusieurs années avant que les établissements du bassin de Briey puissent être rendus à leur activité normale, et au prix des plus lourds sacrifices financiers dont les nouveaux Huns devront assurer la charge.

Auguste PAWLOWSKI.

Sur les redresseurs à vapeur de mercure

A la suite d'une analyse que nous avons publiée dans la « Revue générale de l'Electricité » d'un article sur les redresseurs à vapeur de mercure de forte intensité, nous avons reçu de la Société anonyme Brown, Boveri et Cie, de Baden (Suisse), la note rectificatrice suivante que nous nous empressons de publier.

La « Revue générale de l'Electricité » (1) a publié dernièrement une traduction de l'article sur les redresseurs à vapeur de mercure de forte intensité paru dans la « Schweizerische Bauzeitung »; or une erreur de figure s'est glissée dans un des clichés de cette dernière publication que nous avons reproduits. Il s'agit des oscillogrammes n° 5 et 6 (fig. 1) dans lesquels le sens positif de l'axe des ordonnées avait été interverti. Nous donnons ci-dessous les oscillogrammes réels tels qu'ils doivent être interprêtés. Nous profitons de la circonstance pour ajouter quelques renseignements complémentaires à cet article au sujet des rendements.

Nous avons fait remarquer qu'il est essentiel d'observer que les rendements médiocres mesurés au cours des essais sont dus, en première ligne, à la tension de service très faible des essais (tension courant continu 110 v). En effet, la plus grande perte dans les convertisseurs est celle due à la chute de tension dans l'arc. Or, cette chute de tension (20 v environ) est indépendante de la tension de service. Pour les convertisseurs à tension élevée que nous construisons aujourd'hui (tension de service en courant continu 1 200 v), la perte relative serait donc environ 10 fois plus faible.

En second lieu, la bobine de réactance prévue était sensiblement plus grande que pour une installation normale, afin de s'adapter aux conditions spéciales de l'essai. La résistance ohmique élevée de cette bobine a continué à diminuer le rendement de l'installation.

Enfin, il convient de remarquer qu'en pratique, c'est du rendement wattmétrique dont il faut tenir compte et non pas du rendement électrolytique moins élevé. En effet, l'énergie utilisable par exemple dans les moteurs correspond à celle mesurée au moyen de wattmètres et non pas au produit de la valeur moyenne de l'intensité par la valeur moyenne de la tension.

A titre d'orientation, nous avons reproduit la courbe

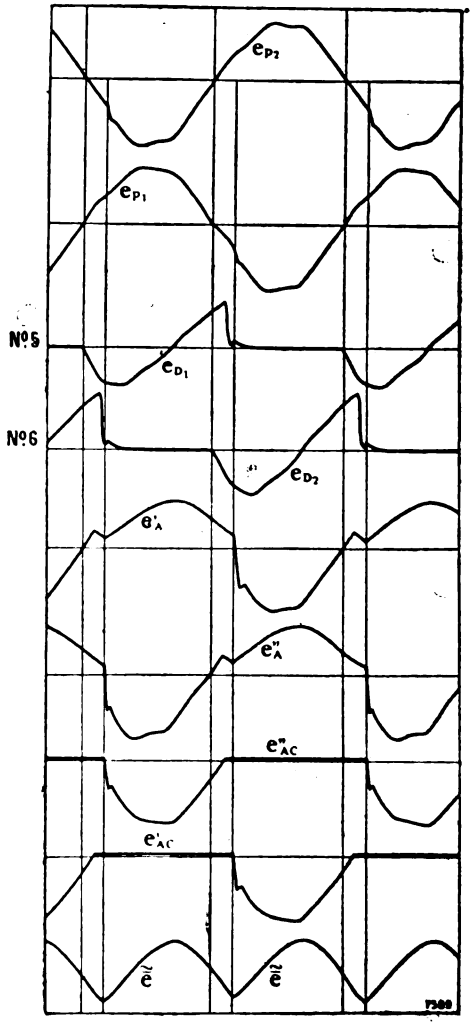


Fig. 1.

(1) *R. G. E.*, 25 janvier 1919, t. v, p. 146-149.

Digitized by Google

donnant (fig. 2), en fonction de la tension, les rendements à pleine charge que nous garantissons pour le convertisseur, y compris les pertes dans les bobines de réactance. Dans le cas de services intermittents (tramways, appareils de levage, etc), il est nécessaire de prévoir une excitation

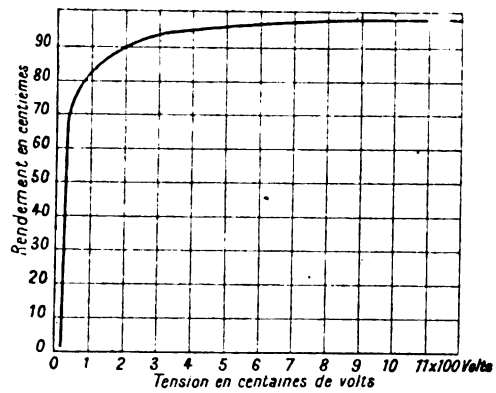


Fig. 2. — Rendement du convertisseur à vapeur de mercure en fonction de la tension de service (courant continu).

séparée pour le convertisseur. La puissance consommée par cette excitation s'élève à environ 0,7 kw par cylindre indépendamment de la charge et de la tension. On voit que ce rendement augmente avec la tension et qu'il atteint 98 pour 100 pour une tension de 1 000 v, c'est-à-dire une valeur qui n'a été obtenue jusqu'à présent qu'avec des transformateurs. Les économies de courant qui résultent de ce rendement favorable et surtout du fait que la diminution du rendement avec la charge est presque insensible, ont déterminé beaucoup de chefs de service à substituer aux groupes moteurs-générateurs des redresseurs à vapeur de mercure. Les économies de la consommation de courant permettent d'amortir en peu d'années les frais d'installation. C'est à cette qualité du convertisseur qu'il faut attribuer les économies que la Compagnie du Tramway de la vallée de la Limmat à Schlieren près Zurich a obtenues en substituant un convertisseur à vapeur de mercure aux deux groupes moteurs-générateurs employés précédemment. Les mesures de consommation de courant ont accusé une économie de plus de 20 pour 100 par rapport au service avec moteur-générateur.

Nous joignons, à titre de renseignement, les courbes (fig. 3) représentant les rendements de ces trois sous-

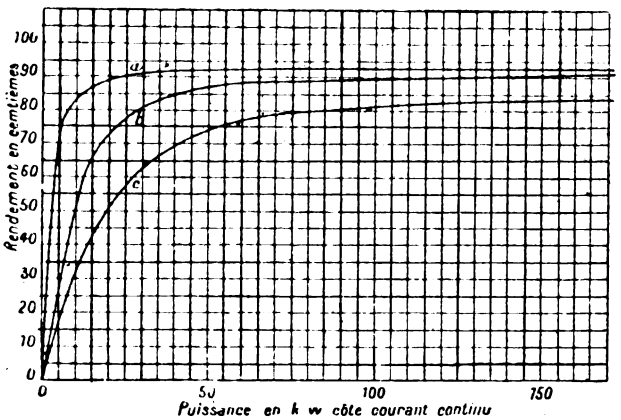


Fig. 3. — Comparaison entre les rendements de différents convertisseurs de même puissance (150 kw).

a Convertisseur à vapeur de mercure + transformateur; *b*, commutatrice + transformateur; *c*, groupe moteur générateur + transformateur. Primaire, courant triphasé 15 000 v, 50 p : sec ; secondaire, courant continu 600 v.

stations à différentes charges, avec une légende expliquant les conditions dans lesquelles ces rendements ont été établis.

Les tarifs de vente au kilowatt-heure de l'énergie pour éclairage sont devenus insuffisants

L'augmentation toujours croissante du prix du combustible, des matières premières et de la main-d'œuvre a rendu insuffisant le prix de vente du kw-h pour l'éclairage. L'auteur examine cette question et indique un moyen d'y remédier qui, à son avis, serait accepté facilement par les abonnés.

Antérieurement à la guerre, les tarifs de vente de l'énergie pour l'éclairage paraissaient en général suffisants pour assurer à l'exploitant un bénéfice normal.

Mais quelle sera la situation après la guerre pour un réseau qui serait à réinstaller, par exemple, dans les régions dévastées, ou même pour un réseau à développer?

Les abonnés d'éclairage ne sont pas des clients agréables ; ils exigent tous le courant en même temps, pendant quelques heures par jour et quelques mois seulement par an. L'exploitant doit donc leur réserver des machines et installer des réseaux qui sont souvent mal utilisés en dehors des heures d'éclairage.

Il y a bien un certain coefficient de simultanéité, mais qui ne dépasse guère 50 pour 100.

Digitized by Google

Pour fixer les idées, nous allons examiner le cas d'un client moyen ayant un compteur de 3 A (0,3 kw) et consommant 100 kw-h par an (330 h d'utilisation), chiffre plutôt supérieur à la moyenne.

Avec le coût actuel du matériel, et en se basant sur des chiffres moyens, le concessionnaire aura à réserver à ce client :

0,3 kw d'usine à 1 000 fr × 50 pour 100...	150 fr.
0,3 kw de réseau à 400 fr × 50 pour 100...	60
Branchement, estimation 190 fr par abonné.	190
Total.....	400 fr.

L'intérêt de l'argent à 7 pour 100, majoré de l'amortissement des installations à 3 pour 100, représente à raison de 10 pour 100 une annuité fixe de 40 fr pour cet abonné (avant la guerre, cette annuité correspondait à environ 8 pour 100 de 150 fr soit 12 fr par abonné).

A cette annuité de 40 fr s'ajoutent les frais non réductibles du service commercial, relevés de compteurs, encaissements, établissements de quittances qui représentent mensuellement au moins 80 centimes par abonné, soit, par an, 10 fr et qui augmenteront encore par l'application de la journée de huit heures.

Nous n'indiquerons que pour mémoire les frais généraux et impôts multiples qui frappent le concessionnaire.

Total des frais fixes : 40 + 10 = 50 fr pour 100 kw-h ou 0,50 fr par kw-h.

Il s'y ajoute encore *le coût de production du kilowatt-heure*.

Supposons que le charbon coûte 50 fr la tonne, avec une consommation de combustible de 1,5 kg : kw-h, la dépense par kilowatt-heure sera en centimes de 7,5; frais de production, main-d'œuvre, etc., 2,5; total en centimes, 10; soit, pour un rendement de réseau de 60 pour 100, 17 centimes environ chez l'abonné.

On constate donc que, pour un abonné d'éclairage moyen, le coût du courant proprement dit ne représentera, après la guerre, que le quart environ du prix de revient total du courant.

Même si le charbon passe de 50 à 100 fr la tonne, le prix du kilowatt-heure ne sera augmenté que de 12 centimes. La hausse du combustible et celle de la main-d'œuvre sont certainement considérables, mais ce qui importe beaucoup plus, ce sont les charges financières, c'est-à-dire *la hausse du matériel multipliée elle-même par la hausse du loyer de l'argent*

Or, cette hausse, que les concessionnaires d'après-guerre devront envisager, représente une dépense fixe qu'ils subiront quelle que soit la consommation de l'abonné.

Il semble donc qu'à moins d'exiger des abonnés un minimum garanti qui varierait suivant les tarifs, la vraie solution consisterait à *appliquer la formule binôme aux tarifs d'éclairage*.

Dans le cas envisagé plus haut, la superdépense correspondant aux charges financières serait de 30 fr pour un abonné de 3 A, plus 6 fr environ pour les frais de relevés, etc., total, 36 fr.

Pourquoi ne pas ajouter au coût de l'énergie vendue au kilowatt-heure une mensualité de 1 fr par ampère sous 110 v inscrit sur la plaque du compteur, ce qui couvrirait les 36 fr de superdépenses prévues ci-dessus. Ce serait une application simple de la formule binôme. Il sera d'ailleurs plus facile de faire accepter aux abonnés une redevance mensuelle que de doubler le prix de vente du kilowatt-heure.

Max Du Bois.

Revues, analyses et informations

Le laminoir de la « Liberté » de la Compagnie des Aciéries Carnegie (États-Unis) (1).

Le laminoir dit de la « Liberté » est la première installation de ce genre de la Compagnie des Aciéries Carnegie où toutes les machines sans exception sont commandées par moteurs électriques. Ce laminoir pour tôles de 2,80 m de largeur, fait partie des Etablissements de Homestead (près Pittsburgh). Il est situé sur la rive sud de la rivière Monongahela, à l'ouest des bâtiments déjà existants.

Bien que créée, en principe, pour les nécessités du moment, dans le but de fournir des tôles à l'Emergency Fleet Corporation (Société de constructions navales fondée pour construire dans le plus court délai une flotte capable d'assurer les transports de la guerre), cette installation est destinée à fonctionner d'une façon permanente ; aussi a-t-on recherché dans la réalisation du projet, autant la solidité dans le système de construction que la rapidité dans l'exécution.

Pour donner une idées de cette rapidité, il suffit de rappeler que, dans le court espace de six mois, l'installation dans son entier avec des bâtiments couvrant une superficie de 24 000 m² a été étudiée, édifiée et mise en exploitation. A noter en outre qu'on a dû, afin d'obtenir le terrain nécessaire, enlever de l'emplacement prévu 70 000 t de chutes d'acier.

L'énergie requise pour le nouveau laminoir est prise à la centrale de Carrie située à 3,200 km en amont sur la rive nord de la Monongahela. Cette centrale renferme des moteurs à gaz de haut-fourneau d'une puissance de 19 600 kv-A, en y comprenant l'addition de 3 500 kv-A qui y a dû être faite pour parer à l'augmentation de charge résultant de la nouvelle installation.

Le courant produit est triphasé ; la tension 6 600 v, la fréquence 25 p : sec. Le transport d'énergie reliant la centrale au point d'utilisation est effectué à l'aide de deux lignes capables chacune d'assurer individuellement le service. La section des fils, en cuivre, est de 250 mm² pour une distance de 3,500 km ; pour la traversée de la rivière, on a eu recours exceptionnellement à un câble en aluminium de

(1) Chas.-A. Menk et F.-L. Hunt. *The Electric Journal*, déc. 1918, t. xv, p. 483-489, 5 000 mots, 18 fig.

Digitized by Google

400 mm² de section, renforcé à l'aide d'une âme en fil d'acier câblé.

Tous les moteurs de grues, ponts roulants, enfourneuses et transporteurs sont du style « laminoir » et fonctionnent par courant continu. L'énergie correspondante est fournie à une tension de 230 v par un moteur générateur placé dans une sous-station appropriée. Les cisailles, compresseurs d'air et pompes de compression pour accumulateur hydraulique sont commandés par des moteurs à courant triphasé fonctionnant sous la tension de 240 v.

Disposition des batiments et de la machinerie. — L'installation comprend une série de bâtiments reliés l'un à l'autre. Dans le premier de ces bâtiments, situé à une extrémité du groupe (voir fig. 1), sont emmagasinés les lopins. Deux ponts roulants d'une force de 20 t et d'une portée de 20 m assurent le service qui consiste dans le déchargement des lopins froids arrivant sur wagons et leur chargement sur des transporteurs qui les conduisent dans le bâtiment des fours disposé parallèlement. Les puissances des moteurs employés sont les suivantes : 75 ch pour la grue, 55 ch pour le pont et 15 ch pour le chariot. Le démarrage et l'arrêt des moteurs est effectué à l'aide de contrôleurs manœuvrés à la main.

Le transporteur tabulaire à rouleaux reliant le bâtiment magasin au bâtiment des fours est commandé par un moteur de 75 ch. Le contrôleur correspondant, du type série, est actionné par électro-aimants. Ce contrôleur, comme tous les contrôleurs du même genre, d'ailleurs, dans l'installation, sont placés dans un petit abri en tôle d'acier, l'interrupteur principal seul étant disposé à portée de l'opérateur, tout près du transporteur.

Le bâtiment des fours contient huit fours à récupération. Les lopins sont pris sur le transporteur, chargés dans les fours, retirés des fours et posés sur le transporteur conduisant au bâtiment du laminoir proprement dit par des enfourneuses d'une puissance de 15 t et d'une portée de 13,50 m. Le pont de ces enfourneuses est commandé par deux moteurs de 37,5 ch avec contrôleur magnétique distinct pour chacun d'eux, les deux contrôleurs étant toutefois actionnés simultanément par un télé-interrupteur unique. Pour tous les autres mouvements la manœuvre des contrôleurs s'effectue à la main. La puissance du moteur du chariot est de 37,5 ch, celle du moteur de la grue de 55 ch. La commande de la vis effectuant l'accrochage sur le bras de chargement est assurée par un moteur de 15 ch.

Les lopins sont conduits par un transporteur tabulaire à 26 rouleaux, commandé par un moteur de 37,5 ch, sur le transporteur avant du laminoir. Après le passage dans le laminoir, ils sont pris par un transporteur arrière commandé comme le précédent par un moteur de 100 ch. Les trois transporteurs sont pourvus de contacteurs actionnés d'un tableau en forme de pupitre par télé-interrupteurs.

Laminoir. — Le laminoir est du type Lant à corroyage total. Les cylindres supérieur et inférieur sont d'égal diamètre (0,90 m) et tournent dans la même direction. Le cylindre médian de diamètre plus petit (0,58 m) est entraîné par frottement. La largeur des cylindres est de 2,80 m. Le cylindre médian peut-être déplacé à l'aide d'un dispositif à commande hydraulique.

Les cylindres supérieur et inférieur sont commandés par un moteur à courant triphasé de 4 000 ch, fonctionnant sous la tension de 6 600 v et tournant à la vitesse de 83 t : min. L'accouplement a lieu au moyen d'engrenages à chevrons avec rapport de réduction 17 : 11 ; (11 dents sur le pignon

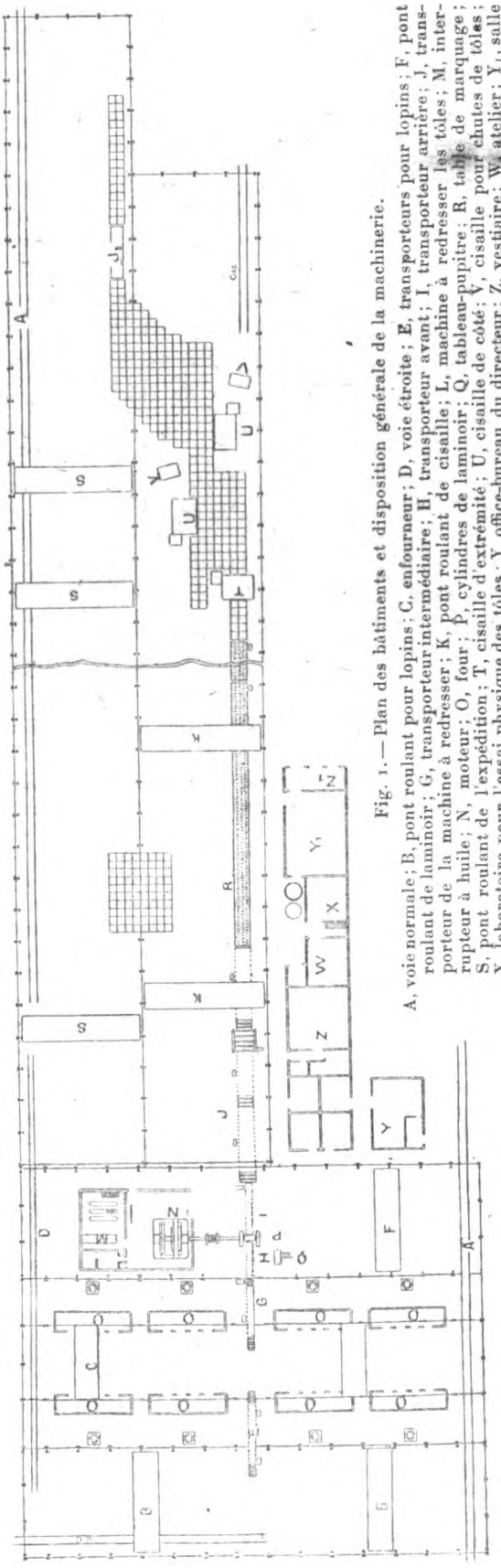


Fig. 1. — Plan des bâtiments et disposition générale de la machinerie.

A, voie normale; B, pont roulant pour lopins; C, enfourneur; D, voie étroite; E, transporteurs pour lopins; F, pont roulant de laminoir; G, transporteur intermédiaire; H, transporteur avant; I, transporteur arrière; J, transporteur de la machine à redresser; K, pont roulant de cisaille; L, machine à redresser les tôles; M, interrupteur à huile; N, moteur; O, four; P, cylindres de laminoir; Q, tableau-pupitre; R, table de marquage; S, pont roulant de l'expédition; T, cisaille d'extrémité; U, cisaille de côté; V, cisaille pour chutes de tôles; X, laboratoire pour l'essai physique des tôles; Y, office-bureau du directeur; Z, vestiaire; W, atelier; Y_1, salle des pompes; Z_1, salle des transformateurs.

Digitized by Google

du moteur, 17 dents sur la roue des cylindres). Il en résulte pour les cylindres une vitesse circonférentielle de 150 m : min.

Le moteur est enfermé dans un petit bâtiment en briques disposé à l'intérieur du bâtiment principal, à portée du pont roulant de laminoir, d'une force de 50 t et d'une portée de 20 m. Le toit de ce petit bâtiment peut-être enlevé à volonté, permettant ainsi d'effectuer aisément avec le pont toutes les manœuvres nécessaires.

Ce moteur, malgré sa destination spéciale, est du type ordinaire, à deux paliers et rotor bobiné. Le volant est monté directement sur l'arbre du rotor (fig. 2) entre les

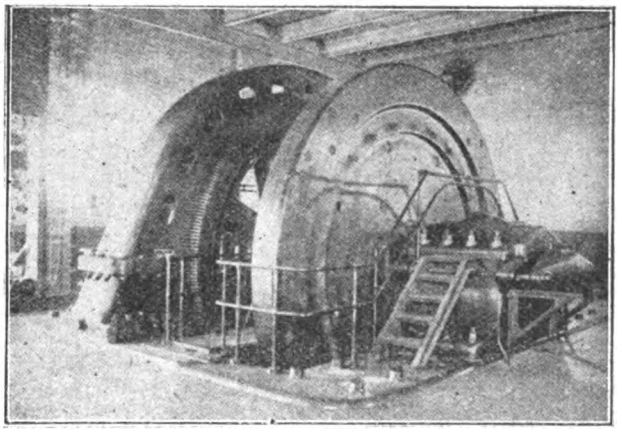


Fig. 2. — Moteur de laminoir de 4 000 ch et volant de 55 t.

eux paliers. Le poids du volant est de 55 t et son diamètre de 5,80 m, le poids total de la partie tournante atteint 119 t.

Le démarrage s'effectue par contacteurs et relais ; ces organes ont pour rôle de réduire progressivement la résistance insérée dans le circuit du rotor afin d'obtenir la mise en vitesse. Le moteur fonctionne normalement avec une résistance suffisante pour réaliser un glissement de 5 pour 100. Au moment des passes, un relais spécial, intercalé sur le primaire du moteur, met en jeu un contacteur lequel augmente la résistance insérée dans le circuit du rotor de manière à porter le glissement à 9 pour 100, permettant ainsi au volant d'abandonner au moment requis une part de son énergie potentielle.

Sur le circuit primaire du moteur, on a disposé un interrupteur inverseur dans le but de déterminer un arrêt rapide ou de changer le sens de rotation en cas d'urgence. Les pertes mécaniques du moteur, ajoutées aux pertes par frottement des engrenages, atteignent un total de 177 kw. Malgré ces résistances passives, il faut cependant au moins 4 min pour obtenir l'arrêt du rotor lorsqu'on se borne à couper seulement l'arrivée du courant et ce, en raison de la grande inertie des parties tournantes.

Le télé-interrupteur actionnant le contrôleur du moteur principal est placé à côté de la table-bureau du chef lamineur, mettant ainsi le laminoir sous son entière dépendance. Des dispositifs de sécurité ont été prévus dans la chambre du moteur et dont le fonctionnement a pour effet de provoquer son arrêt. Mais le démarrage ne peut être obtenu qu'à l'aide du télé-interrupteur ci dessus, et encore est-il nécessaire, après un arrêt intempestif, de ramener cet interrupteur à la position de repos pour pouvoir obtenir de nouveau la mise en marche.

Des lampes témoins de différentes couleurs ont été fixées en pleine vue du chef lamineur, le vert indiquant l'arrêt, le rouge la période de mise en vitesse, le blanc la marche en vitesse normale. Un sifflet fonctionnant à l'air comprimé est utilisé pour tous les signaux ; il est actionné par une valve commandée par électro-aimant, des boutons télé-interrupteurs étant placés, l'un sur le bureau du chef lamineur, l'autre sur le tableau de distribution de la chambre du moteur.

Dans le bureau du chef lamineur, sur le même pupitre où se trouve fixé le télé-interrupteur de démarrage du moteur principal, sont aussi disposés les télé-interrupteurs contrôlant la marche des transporteurs avant et arrière du laminoir, les valves hydrauliques permettant de lever ou d'abaisser les tables de ces transporteurs ainsi que celles commandant le déplacement du cylindre médian. Ces valves fonctionnent d'après le principe du servo-moteur.

La manœuvre des cylindres nécessitée pour les changements de profil s'effectue à l'aide d'un moteur de 100 ch à démarreur magnétique, commandant les vis de serrage. Le télé-interrupteur correspondant est également placé sur le pupitre de contrôle déjà mentionné. Des interrupteurs inverseurs permettent d'obtenir un arrêt rapide de ce moteur ainsi que de ceux commandant les transporteurs.

Les changements de cylindres s'opèrent très aisément, le laminoir étant du type à chapeau rapporté ; la manœuvre a lieu à l'aide du pont roulant de laminoir d'une force de 50 t. Pour le pont proprement dit, le service est assuré par deux moteurs de 37,5 ch, pourvus chacun d'un contrôleur magnétique distinct ; toutefois, les deux contrôleurs sont actionnés simultanément par un télé-interrupteur unique, à plusieurs positions, permettant de réaliser quatre vitesses différentes. La puissance du moteur du chariot est de 37,5 ch et celle du moteur de la grue de 75 ch. Il existe en outre, sur le même bâti, une grue auxiliaire de 15 t avec moteur de 55 ch.

Bâtiment des cisailles. — Le bâtiment des cisailles est disposé perpendiculairement au bâtiment du laminoir. Les tôles quittant le transporteur arrière du laminoir sont conduites sur un transporteur intermédiaire et de là sur le transporteur avant de la machine à redresser. Cette machine comporte, à la partie inférieure, six cylindres commandés par un moteur à enroulement compound de 75 ch et à la partie supérieure, cinq cylindres fous sur leurs arbres, l'écartement voulu entre les cylindres supérieurs et inférieurs étant assuré à l'aide d'un moteur de 7,5 ch.

Les tôles en sortant de la machine à redresser sont conduites sur un premier transporteur tabulaire d'une longueur de 50 m où s'effectue le marquage. Un second transporteur, de même dimension, amène les tôles sous la cisaille d'extrémité pouvant couper sur une largeur de 2,80 m. De là les tôles peuvent être poussées à l'aide de « casters » sur l'une ou l'autre de deux cisailles de côté, pouvant couper sur une longueur de 4,25 m. Chacune des trois cisailles ci-dessus est commandée par un moteur à courant triphasé, à rotor bobiné, de 200 ch, fonctionnant sous la tension de 220 v. Le démarrage est obtenu à l'aide d'un contrôleur magnétique avec télé-interrupteur. Les moteurs sont reliés aux cisailles correspondantes au moyen d'un accouplement élastique en prise avec un pignon de commande fixé entre deux paliers.

En arrière de chaque cisaille, de côté, est disposée une cisaille pour chutes de tôles, actionnée par un moteur à cage d'écureuil de 40 ch. Le démarrage est obtenu à l'aide d'un contrôleur manœuvré à la main. Les « casters »

Digitized by Google

employés autour des cisailles et de là jusqu'au bâtiment des expéditions sont pourvus de points d'appui à rouleaux et de paliers de butée à billes, de manière à réduire la fatigue des ouvriers au minimum. Les manœuvres de levage sont assurées à l'aide de deux ponts roulants de 10 t et d'une portée de 23 m, les puissances des moteurs étant de 55 ch pour le pont, de 55 ch pour le chariot et de 75 ch pour la grue. Tous les contrôleurs sont actionnés à la main.

Batiment des expéditions. — Le bâtiment des expéditions, qui court parallèlement à celui des cisailles, est desservi par trois ponts roulants d'une force de 10 t et d'une portée de 23 m. Le moteur du pont a une puissance de 55 ch, celui du chariot une puissance de 15 ch. On a prévu deux grues séparées avec tambour en porte à faux, les câbles correspondants pendant de part et d'autre des poutres du pont. Ces deux grues peuvent fonctionner indépendamment l'une comme l'autre, ou comme une grue unique, suivant la longueur de la tôle à déplacer. A cet effet, les contrôleurs, du type magnétique, sont actionnés par des télé-interrupteurs distincts, mais disposés de telle sorte que l'on puisse les manœuvrer simultanément lorsqu'il est nécessaire de faire fonctionner les grues comme une seule et même machine.

Sous-station électrique et batiment des pompes. — Parallèlement au bâtiment des cisailles est diposé un long édifice, bâti en briques lequel contient les locaux pour le contremaître électricien, le contremaître mécanicien, le contremaître de la main-d'œuvre, etc., le vestiaire, l'infirmerie, le laboratoire où s'effectue l'essai physique des tôles, ainsi qu'un petit atelier où sont façonnés les échantillons destinés aux essais. Au premier étage se trouvent les bureaux des inspecteurs et des employés du service des expéditions.

Le même édifice renferme : l'accumulateur hydraulique donnant l'eau sous pression pour les différentes manœuvres du laminoir, la sous-station électrique contenant trois transformateurs monophasés de 500 kv-a, à refroidissement par air, connectés en triangle. L'éclairage est assuré par une canalisation distincte à 120 v, obtenue au moyen d'un branchement spécial pris sur le secondaire d'un des transformateurs.

Les compresseurs d'air ont une capacité de 170 m^3 et sont commandés par un moteur synchrone de 250 ch tournant à 214 t : min. Le rotor est monté directement sur l'arbre à manivelle. L'excitation est prise sur la canalisation générale à courant continu de l'atelier. La pression de l'air est maintenue à 7 kg : cm^2.

Les pompes de compression pour l'accumulateur hydraulique sont des pompes duplex de dimensions 15 cm × 30 cm. Elles sont commandées par un moteur de 100 ch à rotor bobiné par l'intermédiaire d'un accouplement élastique et d'engrenages à chevrons. L'accumulateur maintient une pression constante de 40 kg : cm^2.

Résultats d'exploitation. — Le laminoir de la « Liberté » fonctionne depuis plus d'un an d'une façon normale. Les lopins employés ont été d'un poids moyen de 1 900 kg avec une épaisseur d'environ 11,5 cm. La production mensuelle a été de 19 000 t en tôles finies, l'épaisseur de ces tôles variant entre 5 mm et 32 mm pour une largeur de 2,50 m.

La figure 3 représente, sous forme de courbe, la puissance demandée à chaque instant par le moteur principal

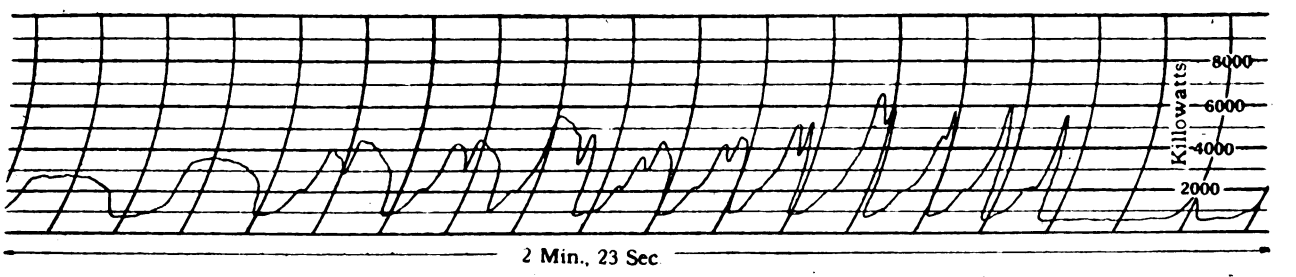


Fig. 3. — Graphique de puissance du moteur de laminoir en travail.

pour transformer un lopin du poids de 2 400 kg d'une largeur de 1,20 m et d'une épaisseur de 11 cm en une tôle de 7,8 m de longueur, d'une largeur de 1,8 m et d'une épaisseur de 1,6 cm. On notera l'influence du volant sur la forme de la pointe, influence particulièrement marquée pendant la phase où la réduction d'épaisseur du lopin par laminage est la plus forte.

La consommation d'énergie a été en moyenne de 52 kw-h par tonne de tôle finie. Le rendement du laminoir, c'est-à-dire le rapport entre le tonnage chargé et le tonnage produit a été de 75 pour 100. Dans les pertes sont compris tous déchets aux fours et au laminage et les chutes aux cisailles.

Les balais en charbon.

M. P. Hunter-Brown a fait à « l'Institution of Electrical Engineers » de Londres, le 10 juillet 1918, la communication dont nous donnons ci-dessous une analyse :

Les balais en charbon, désignés encore sous le nom de balais de carbone, comprennent tous les balais constitués par du charbon ou du graphite avec ou sans addition de métaux. Ces balais se rencontrent sur toutes les machines électriques. Leur rôle est le suivant :

1° Quand ils sont utilisés sur les bagues, ils doivent maintenir un contact continu et ne donner lieu qu'à un minimum de pertes. La distribution du courant entre eux doit être uniforme pour éviter l'échauffement local. Les usures (bagues et balais) doivent rester dans des limites raisonnables.

2° Quand ils sont utilisés sur des collecteurs, ils doivent, en plus des propriétés ci-dessus, posséder les caractéristiques nécessaires à la bonne commutation.

Propriétés des balais en charbon. — Résistance spécifique. — La résistance spécifique des mélanges de graphite et de charbon varie de 0,005 ohm-cm à 0,05 ohm-cm. La perte due à la résistance propre d'un balai est faible, comparativement à celles produites par frottement et par la résistance au contact. La plus haute valeur de la perte due

Digitized by Google

à la résistance propre est d'environ 10 à 15 pour 100 des autres pertes. Elle est donc de peu d'importance.

Frottement. — Il est de première importance d'obtenir un faible coefficient de frottement dans les machines à grandes vitesses. Le coefficient de frottement est influencé par la composition du balai, la nature du collecteur, l'état de sa surface, la pression exercée sur le balai, la vitesse périphérique et les conditions atmosphériques. Une variation de température n'affecte pas le coefficient de frottement, sauf dans le cas très rare où le balai rougit. La pression appliquée aux balais a une grande influence sur le frottement; dans certains cas de machines parfaitement équilibrées, avec des surfaces très propres, on peut observer l'effet de « succion » : il se produit sous les balais un vide partiel qui fait adhérer le balai au collecteur ; cet effet s'observe rarement dans la pratique. La vitesse périphérique a une influence marquée sur le frottement (la figure 1 en donne la loi de la variation) qui diminue quand la

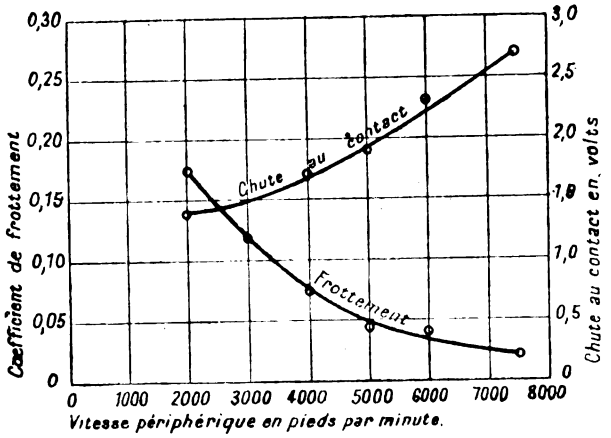


Fig. 1.

vitesse augmente, une mince couche d'air prenant naissance sous le balai avec l'augmentation de vitesse.

Chute de tension au contact. — C'est la propriété la plus importante.

Elle est 4 à 5 fois plus forte pour un balai en charbon que pour un balai en toile de cuivre et elle constitue la

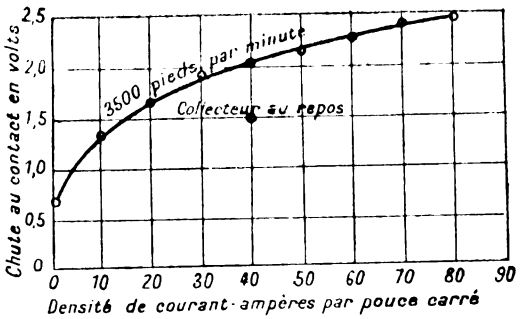


Fig. 2.

principale qualité des balais de charbon. Elle ne varie pas comme le courant (fig. 2) et reste constante à partir d'une certaine valeur. Son ordre de grandeur est 1 v. Pour des vitesses de 600 m : min à 500 m : min, elle reste presque indépendante de la vitesse ; mais elle croit rapidement pour les très hautes vitesses par suite de la formation d'une couche

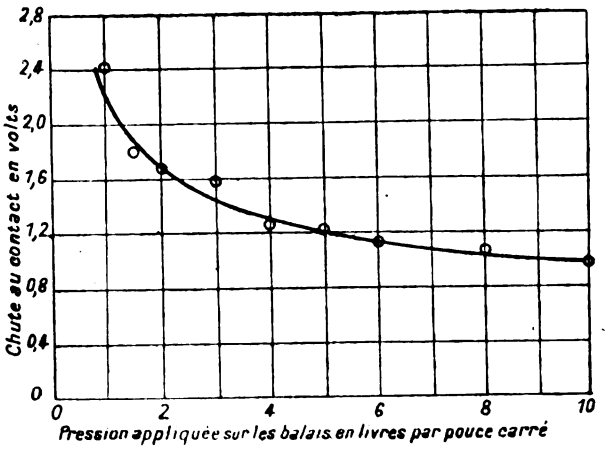


Fig. 3.

d'air sous le balai. Elle est affectée par la pression exercée sur le balai (fig. 3).

Conductibilité thermique. — C'est grâce à cette propriété que le balai peut se refroidir. Elle est élevée pour les balais en graphite pur ainsi que pour le mélange graphite-cuivre, tandis qu'elle est faible pour les balais en charbon (voir fig. 4). C'est ce qui explique que les balais en

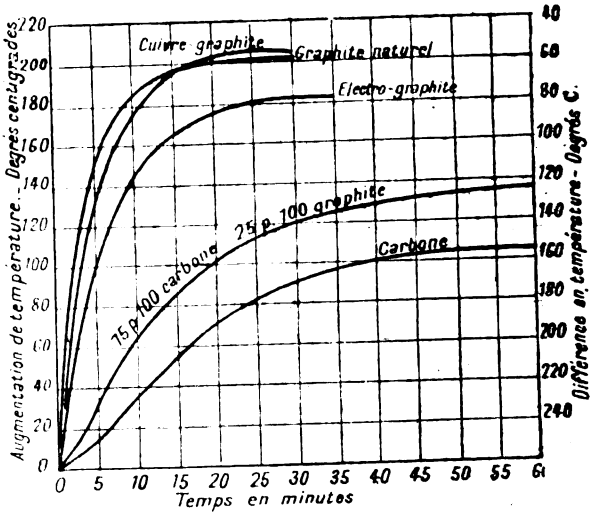


Fig. 4.

graphite peuvent supporter des charges plus importantes que les balais en charbon ordinaires sans qu'ils atteignent des températures dangereuses. C'est aussi pour cela que les conducteurs flexibles des balais de graphite sont plus souvent brûlés que ceux des balais de charbon.

Dureté et abrasion. — La dureté est déterminée par la résistance que la matière oppose à une déformation permanente. L'action abrasive est la propriété qu'ont certains balais d'user le collecteur comme le ferait une meule. Cette action est très légère, on lui impute souvent à tort l'usure

Digitized by Google

du collecteur. Des essais avec balais abrasifs (charbon) recevant une pression de 330 g : cm², sur un collecteur tournant à 1 200 m : min (vitesse périphérique) ont donné comme usure radiale : 0,07 mm pour 20 millions de tours.

Inertie. — L'inertie d'un balai doit être réduite au minimum de même que l'inertie des porte-balais, afin de maintenir le contact pour les grandes vitesses.

Construction et calcul des balais. — Dimensions. — Les dimensions qui conviennent le mieux sont pour la largeur : 30 mm au maximum ; l'épaisseur sera réglée par la commutation, mais il est préférable qu'elle ne dépasse pas 25 mm. Le balai à coulisse est préférable au balai à pince à cause de sa faible inertie et parce qu'il se prête bien aux inégalités du collecteur.

Montage. — Le jeu total à admettre entre le balai et son guide ne doit pas excéder 0,2 mm. Les guides doivent être formés de quatre côtés complets, sans interruptions, c'est-à-dire sans trous ni encoches. Les porte-balais ne doivent pas être trop légers, sans quoi ils vibrent facilement, guident mal le balai et dissipent mal la chaleur produite au contact.

Les connexions flexibles montées sur les balais doivent être calculées pour le courant de pleine charge. Ils ne doivent pas être plus larges qu'il n'est nécessaire, parce qu'ils gênent le déplacement du balai dans son logement. Ces flexibles doivent être terminés par une cosse donnant un bon contact.

Composition des balais. — 1° Graphite. — Ces balais sont formés de graphite naturel. Ils ont une grande conductibilité thermique et électrique, ainsi qu'un faible coefficient de frottement. Ils sont employés sur les collecteurs à grandes vitesses et sur les bagues.

2° Charbon. — Ils ont en général une chute de tension au contact supérieure à celle des balais de graphite ; à cette classe correspondent les balais en charbon mélangé avec plus ou moins de graphite.

3° Electrographite. — Ces balais sont constitués par du charbon qui, après séchage, est converti en graphite au four électrique. Ces balais conviennent pour des courants de circulation importants ou de fortes surcharges comme dans la traction avec moteurs monophasés à collecteurs.

4° Cuivre-graphite. — Ces derniers sont composés de cuivre avec addition de graphite dans la proportion de 5 à 60 pour 100. Ils conviennent pour les bagues et les dynamos à basse tension. Ils ont une faible chute de tension au contact et une haute conductibilité.

Choix des balais. — La densité de courant indiquée par les fabricants de balais ne doit pas être prise comme valeur absolue, les balais doivent toujours être calculés assez larges, parce que l'intensité prise par chacun d'eux dépend de la pression qui leur est appliquée et les inégalités de charge sont fréquentes pour une même ligne de balais. On voit sur les figures 3 et 5 que deux balais identiques, s'ils sont soumis à des pressions de 125 gr : cm² et 415 gr : cm² seront traversés par des courants dans le rapport de 24 à 56. Pour les grandes vitesses, les balais doivent avoir un faible frottement, une grande conductibilité, ne pas être abrasifs et avoir peu d'inertie, le graphite remplit ces conditions. Les micas doivent être grattés et on ne doit pas confier aux balais le soin d'user le mica.

On ne doit pas normalement employer des qualités différentes sur le même collecteur. On peut admettre, dans des cas spéciaux, une qualité sur toutes les lignes positives et une autre sur les lignes négatives ; sur des bagues équipées

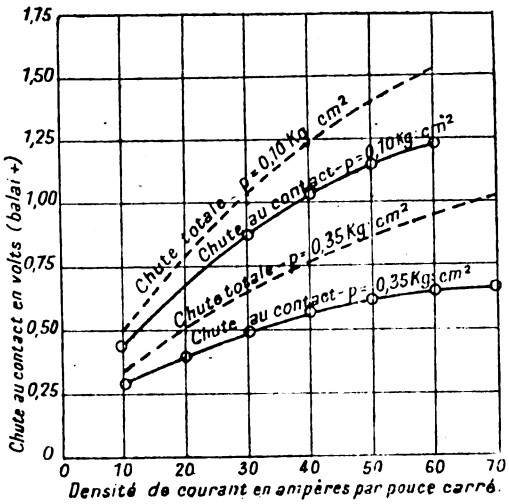


Fig. 5.

avec des balais métalliques, on peut placer quelques balais de graphite pour lubrifier les bagues, mais ces derniers ne doivent pas être comptés dans le calcul de la densité de courant parce que leur résistance au contact est trop grande (fig. 6). La composition des bagues a beaucoup d'impor-

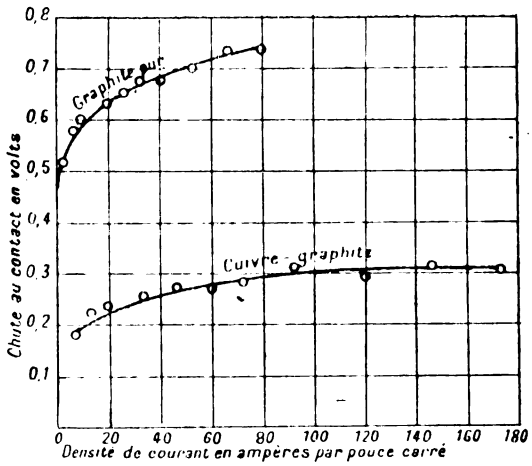


Fig. 6.

tance. Le meilleur alliage est composé de 88 pour 100 de cuivre, 2 pour 100 de zinc, 10 pour 100 d'étain. L'acier et la fonte ne conviennent pas parce qu'ils dissipent mal la chaleur produite à la surface de contact.

Fonctionnement. — Rodage et réglage. — Les balais doivent être soigneusement rodés à la toile fine, puis par la rotation de la machine à vide. Le rodage a une très grande importance. Le réglage de la pression appliquée doit se faire avec un petit dynamomètre ; la pression varie entre 125 gr et

Digitized by Google

160 gr : cm². Les lignes des balais doivent être chevauchées (fig. 7).

Usure du collecteur. — Elle peut se produire avec un balai trop abrasif; mais la cause principale est un transport de matière analogue à celui qui résulte de l'électrolyse : le courant entraîne par son passage des particules métalli-

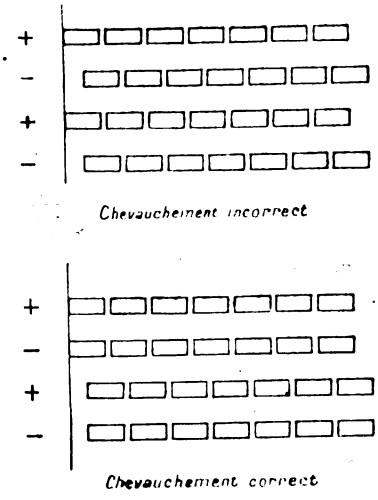


Fig. 7.

ques du collecteur, sous forme de poussières de cuivre; un mauvais contact favorise la création de ces poussières : quand cet effet a commencé à se produire sur un collecteur, il s'amplifie parce que la résistance au contact des balais négatifs diminue et que le courant de circulation augmente (fig. 8).

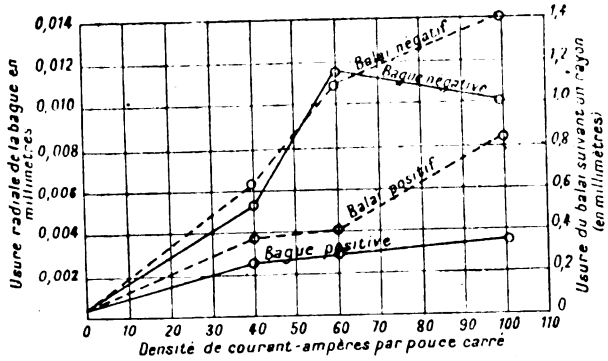


Fig. 8.

Il faut donc assurer un bon contact à l'aide d'un rodage et d'un réglage soignés, puis à l'aide du grattage des micas.

Lubrification. — Les balais doivent remplir l'office de lubrifiant. On ne doit jamais employer d'huile qui détériore les isolants et les balais.

Conditions de marche. — Avant de mettre une dynamo en marche nous avons vu qu'on devait gratter les micas, roder les balais et régler les pressions; les collecteurs doivent tourner aussi rond que possible et les vibrations de la machine doivent être réduites au minimum. En marche normale, avec les machines modernes à grande vitesse, il suffit d'un très petit défaut mécanique pour que le collecteur ne soit pas parfaitement rond, il est nécessaire que le balai suive quand même le collecteur; pour cela il faut qu'il puisse jouer dans son alvéole. On vérifiera fréquemment ce jeu en enlevant les poussières qui recouvrent le balai et qui pourraient l'empêcher de glisser librement dans son guide.

Unification. — Cette question n'est pas solutionnée. Les Américains essayent d'unifier les dimensions des balais; ils adopteraient 250 dimensions types que l'on tâcherait de réduire à 72. Il est à craindre que l'unification de la composition des balais soit difficile à réaliser et jusqu'à présent c'est toujours par l'expérience, et quelquefois à la suite de nombreux essais, qu'on détermine le type du balai qui convient à une machine. G. B.

Une industrie nouvelle : la soudure électrique.

Le Syndicat de la flotte de secours (*Emergency Fleet Corporation*) des Etats-Unis a fondé, il y a un an et demi, une Commission pour étudier et faire progresser les procédés de soudure électrique et une Ecole spéciale pour former des opérateurs et des inspecteurs de ce genre de travail. Un compte rendu des résultats obtenus jusqu'à ce jour vient d'être publié (1).

Procédés de soudure électrique. — Bien des méthodes sont employées pour la soudure électrique, mais les deux principales auxquelles s'intéresse actuellement la Commission sont la soudure par effet Joule (spot welding) et la soudure à l'arc. Dans la soudure par effet Joule, on place des électrodes de cuivre, refroidies par un courant d'eau dans les très grosses machines, sur les côtés opposés des pièces à souder l'une à l'autre. Le joint est à chevauchement. On construit maintenant des machines qui permettent de faire deux soudures à la fois. Le mode opératoire est celui-ci :

On met les électrodes en contact avec les pièces à joindre; on fournit un courant suffisant pour donner la chaleur nécessaire, on applique alors la pression, puis on supprime le courant d'abord, la pression ensuite; la soudure est alors complète.

L'observation d'un bouton placé sous l'électrode donne à l'opérateur une indication parfaite de la durée de chaque manœuvre et il ne peut manquer ainsi de réussir toutes ses soudures. On a même construit des machines à souder par effet Joule, à marche automatique, mais il est généralement reconnu qu'elles rendent compliqué un procédé qui est par lui même très simple.

Le procédé de la soudure à l'arc est celui-ci :

On relie un pôle du circuit électrique aux pièces à souder ensemble; on prépare généralement la matière de remplissage en chanfreinant les bords de ces pièces. On relie à l'électrode l'autre pôle du circuit. L'opérateur, muni d'un porte-électrode, touche avec l'électrode la matière de remplissage et amorce l'arc. Il déplace alors son électrode, par un mouvement semi-circulaire, d'un bord à l'autre de la rainure et en même temps la fait avancer le long de cette rainure. L'arc doit s'amorcer dans le métal de remplissage et produire une parfaite fusion le long des bords de la rainure. Si l'électrode est à revêtement, il est important que la scorie qui se forme pour la protection du métal pur soit ramenée à la surface et il est essentiel, si l'on applique une seconde ou une troisième couche, de gratter soigneusement la scorie ou les impuretés avant de remettre du métal pur.

(1) H.-A. Hornor. Communication présentée à l'American Institute of Electrical Engineers, le 16 septembre 1918. *Proceedings of the A. I. E. E.*, octobre 1918, t. XXXVII, p. 1185-1195.

Digitized by Google

Pour la soudure à l'arc, l'opérateur doit avoir un écran à main ou un casque, avec verres spéciaux pour les yeux; ses mains doivent être protégées par des gants. Un casque cou-

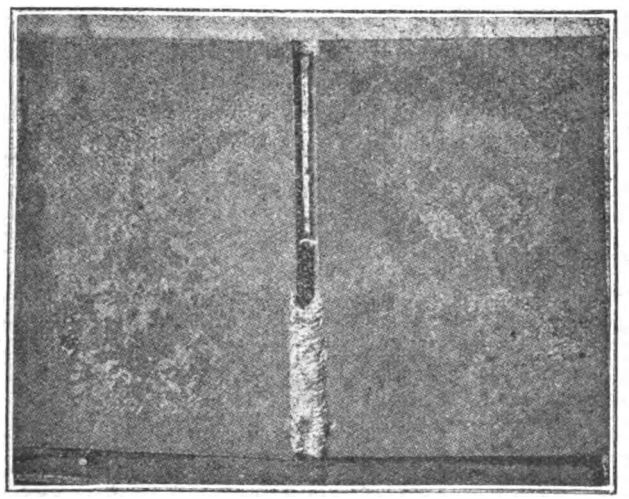


Fig. 1. — Soudure de deux plaques par l'arc, en cours d'exécution. Remarquer les soudures d'armature qui maintiennent les plaques réunies.

vrant en partie la poitrine est nécessaire pour le difficile travail d'une soudure en un endroit plus élevé que la tête de l'opérateur.

Aux Etats-Unis, la soudure à l'arc est surtout employée dans les ateliers de réparation de chemins de fer. La soudure par effet Joule est employée dans ces mêmes ateliers et aussi dans beaucoup d'autres industries. Il est intéressant de noter la différence de pratique entre la Grande-Bretagne et les Etats-Unis : dans le premier pays, on ne connaît que peu ou pas la soudure par effet Joule et on applique couramment la soudure à l'arc; dans le second, c'est exactement l'inverse.

La Commission d'étude, dans le but de savoir si la soudure par effet Joule pouvait s'exécuter avec succès sur des plaques d'acier de 25 mm d'épaisseur, a fait construire dans ce but un appareil expérimental de grandes dimensions. On a reconnu que cette machine pouvait souder non seulement une, mais trois épaisseurs de plaques de 25 mm, condition qui dépasse de beaucoup les exigences de la construction des navires marchands. Aussi a-t-on construit pour cet usage de grandes machines à souder par effet Joule, qui vont entrer en fonctionnement pour la construction des cargos-types de 9600 tonnes.

On a fait aussi des essais sur la soudure à l'arc dans des travaux très variés, mais on ne sait pas encore si ce procédé permet de souder des tôles de navires avec la certitude d'une résistance normale. Les essais sont en cours. Une sous-commission a prélevé, dans quinze ateliers différents, des échantillons de soudures effectuées sur des tôles de navires de 12 mm; les commissaires ont assisté à l'opération, ont noté les conditions de courant, de tension, d'électrode, l'opérateur, etc., et ont alors préparé pour les essais les échantillons de soudures, qu'ils ont envoyés au Bureau des Etalonnages de Washington. Les résultats ont montré, malgré la diversité d'origine et de conditions, une ressemblance remarquable entre ces soudures. Presque toutes ont cédé à une traction supérieure à 3 500 kg : cm², la moyenne étant 4 000 kg : cm² environ. A l'essai de pliage, l'un des échantillons put être courbé d'un angle de 78° avant l'apparition d'une fêlure et la rupture finale fut atteinte à 80°. Dans un autre cas, l'échantillon fut plié à 65° avant apparition de la première fêlure et la rupture finale n'eut lieu qu'à 86°. Ce qui est important, c'est que toutes les soudures ont montré une solidité telle qu'on en conclut que l'arc électrique est applicable à l'assemblage de l'acier quand la construction est soumise à des charges en mouvement, à des efforts de flexion, à la pression statique, etc. La sous-commission va faire effectuer des essais analogues sur des tôles de 18 et de 25 mm.

Voici un autre genre d'essai. On construit en ce moment trois réservoirs d'une capacité de 340 litres (12 pieds cubes); ils sont établis de telle façon que 12 à 15 sortes de joints entrent dans leur construction. Ces réservoirs seront soumis à un effort statique et on mesurera directement la flexion des joints. Ils subiront ensuite des essais par choc extérieur et seront brisés, puis on enverra des fragments des joints au Bureau des Etalonnages.

Certains constructeurs, qui avaient l'opinion très arrêtée que le courant continu convenait seul à la soudure par arc, ont tout dernièrement changé d'avis et reconnaissent que le courant alternatif peut présenter certains avantages.

L'arc électrique exige une tension réduite qu'on ne peut guère obtenir en courant continu qu'avec des machines assez coûteuses ou une certaine perte d'énergie. Aux Etats-Unis, il y a peu de grandes manufactures où la tension soit inférieure à 220 v en courant continu. Avec cette tension, le seul

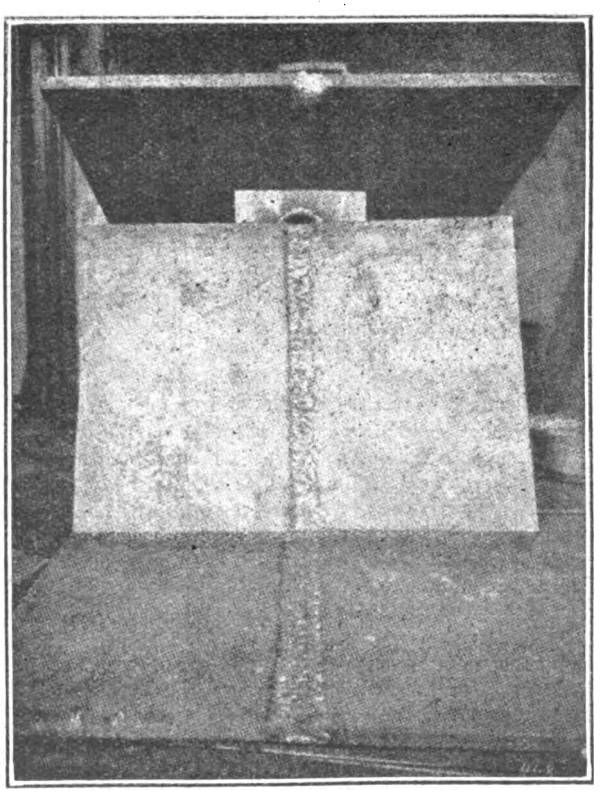


Fig. 2. — Soudure par l'arc dans trois positions différentes, à plat, verticalement et en dessus.

système économique de transformation est l'emploi d'un groupe moteur-génératrice, et le rendement est alors de 50 à 60 pour 100. Si la tension d'alimentation est de 110 v,

Digitized by Google

on peut employer une résistance variable qui réduit la tension à la valeur nécessaire pour l'arc, mais on a alors un très mauvais rendement. Dans le cas du courant alternatif, on peut réduire la tension d'alimentation au moyen d'un transformateur qui fournira, comme dans le cas du courant continu, une tension suffisante pour faire jaillir l'arc et une réduction de tension satisfaisante après l'amorçage de l'arc. Avec le matériel d'usage courant, on peut faire la soudure à l'arc en consommant 6 à 8 kw par machine soudeuse, mais si l'on a de la basse tension, il existe certains équipements

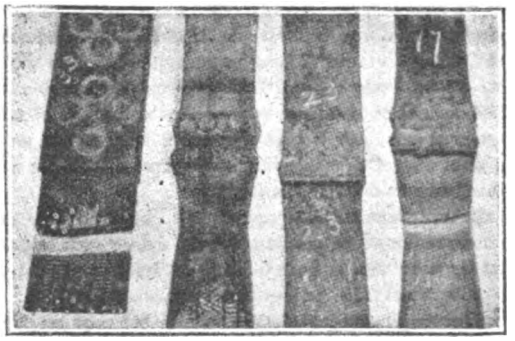


Fig. 3. — Eprouvettes soudées électriquement. La rupture à la tension s'est produite en dehors de la soudure. Plaques d'acier de 19 mm × 180 mm et de 12,7 mm × 150 mm.

qui réduisent la consommation à 3 kw ou 3 kw et demi par soudeuse, et même à moins.

Il est bien reconnu que le procédé électrique est moins coûteux qu'aucun autre. Il a aussi l'avantage pour la vitesse et l'économie d'effort humain. Voici ce qu'a dit le président Adams dans une récente discussion sur ce sujet : A l'un des chantiers maritimes de la côte est des Etats-Unis, le nombre des pièces à souder sur les coques types assemblées par rivures, qui s'y construisent actuellement, se monte à 225 000. Le prix de la main-d'œuvre pour le rivetage de ces pièces se monte à 1 225 000 fr environ, et, pour la soudure, à 495 000 fr, ce qui fait épargner 730 000 fr. Mais ceci est infime en comparaison de ce qui pourrait être fait. L'orateur a dit ensuite que, dans certains cas particuliers, l'économie monte à 90 pour 100.

Une des intéressantes questions discutées par la Commission est celle des avantages respectifs de l'électrode à revêtement et de l'électrode nue. On ne peut pas citer de faits précis à ce sujet. La pratique, en Angleterre, a consisté à employer l'électrode à revêtement, qui abrite l'arc soudant du contact avec l'air et empêche ainsi une trop grande formation d'oxyde. Aux Etats-Unis, c'est le fil nu qu'on a surtout employé jusqu'à présent. Récemment, des chercheurs américains ont découvert le fait important qu'il y a des avantages à employer l'électrode revêtue et l'on fait en ce moment des expériences à ce sujet. Il est intéressant de noter que, dans les essais de soudures mentionnés plus haut, le meilleur spécimen avait été fait avec une électrode revêtue (non recouverte d'amiante) et un courant alternatif. Le point essentiel paraît être ici la ductilité de la soudure, et il semble que l'électrode nue ne donne pas une soudure aussi ductile, ou du moins supportant aussi bien l'essai de pliage, qu'une électrode recouverte d'un enduit ou d'un revêtement. Or la question de la ductilité de la soudure a beaucoup d'importance pour l'application aux constructions navales et aussi pour d'autres industries connexes.

Quel que soit le genre d'électrode employé, quelle que soit sa composition, quels que soient la matière de remplissage et le matériel électrique employé, la solidité de la soudure dépend surtout de l'homme qui l'opère. Cet homme, s'il est devenu habile dans son art, sait immédiatement si sa soudure s'effectue ou non. Après une longue pratique, il peut, en regardant une soudure achevée, juger si elle est bonne ou mauvaise. Aussi l'éducation professionnelle des soudeurs à l'électricité a-t-elle été prise en mains, dès le début, par le Syndicat de la Flotte de secours. Des Ecoles ont été établies dans beaucoup de régions du pays pour former des opérateurs et aussi pour transformer des opérateurs en instructeurs. Les hommes à former sont pris dans les diverses industries, particulièrement celle des constructions navales et lorsqu'ils ont terminé leurs apprentissages d'opérateur et d'instructeur, ils sont rendus à leur patron pour former à leur tour des opérateurs chez lui.

Ceci conduit à un autre problème au sujet duquel bien des recherches ont été faites et seront faites encore : trouver une méthode pratique et scientifique d'éprouver un joint soudé après son achèvement. On a proposé diverses solutions que voici :

1° Mécanique. — En martelant la soudure ou en la burinant à intervalles rapprochés.

2° Electrique. — En mesurant la résistance ou la chute ohmique de tension.

3° Magnétique. — Au moyen du perméamètre ou du changement de conditions du circuit magnétique.

4° Rayons X. — Au moyen d'une épreuve radiographique.

Aucune de ces méthodes n'a donné jusqu'ici de résultats concluants, et il faut recourir au moyen purement méca-

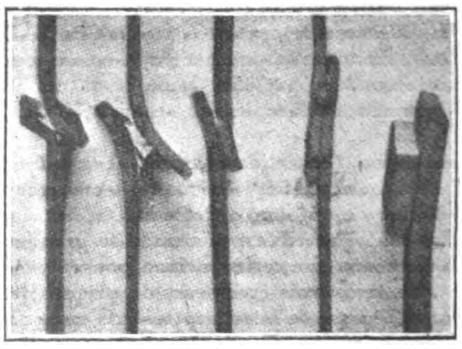


Fig. 4. — Plaques d'acier de 12,7 mm et de 25,4 mm d'épaisseur, soudées à l'électricité, après leur essai à la tension. On voit l'effet des efforts complexes dus au chevauchement des pôles.

nique qui consiste à frapper des coups violents sur ou au voisinage de la soudure, ou à employer un burin pneumatique et à examiner entre les épreuves. Le meilleur moyen paraît être de faire observer soigneusement les soudeurs au travail par l'inspecteur.

La Commission d'études a constaté que la littérature concernant la soudure électrique est très obscurcie par des affirmations inexactes et des théories aventurées. Elle prépare un manuel qui mettra la question au point.

Les figures 1 à 4 donnent quelques exemples de soudures électriques. P. L.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

De quelques matières premières nécessaires à l'industrie électrique

Le mica (*Suite*)

M. Désiré Pector a commencé à publier dans la « Revue générale de l'Electricité » des 3 et 10 mai 1919, p. 673 et 701 une étude très complète sur le mica. Nous en donnons ci-dessous la suite qui examine en particulier les emplois industriels du mica.

Propriétés diélectriques. — Nous rappelons d'abord que la constante diélectrique d'une couche isolante correspond au rapport des capacités de deux condensateurs d'égale forme et grandeur, dont l'un contient la substance à étudier et l'autre l'air comme substance isolante.

Quant aux détails scientifiques relatifs aux propriétés diélectriques que doit réunir le mica pour son emploi dans l'industrie, on peut consulter avec fruit l'ouvrage de M. E. Bouty « Le mica. Ses propriétés diélectriques », Paris 1896.

Les deux tableaux ci-dessous donneront des exemples précis et pratiques des conditions en question, comme résultante d'essais faits par de savants spécialistes sur des échantillons de mica de diverses provenances.

Pour l'expérience ci-dessus de rigidité diélectrique, la tension maximum exprimée en millions de volts par centimètre est celle requise pour le percement des échantillons sous forme de disques.

« Bien que les essais pratiqués sur les diverses variétés de micas du monde, dit M. H. de Schmid, aient montré que la muscovite claire de première qualité possède une rigidité diélectrique aussi élevée que le mica ambré ou la phlogopite, cette dernière variété est préférée de beaucoup par les fabricants de machines électriques, par suite de sa souplesse et de sa plus forte élasticité. »

M. G.-H. Fletcher, dans « The Electrician » (Londres, 21 mars 1909), dit que la rigidité diélectrique de la micanite est de 4 000 v pour une épaisseur de 0,25 millimètres. Pour une épaisseur de 0,75 millimètres, elle est de 6 500 v. L'expérience de cette dernière épaisseur avait été faite avec de la micanite provenant de mica de l'Afrique du Sud : cette épaisseur avait été percée à 9 000 v et une épaisseur double, à 13 000 v.

Extraction et manutention du minéral. — La première opération consiste à extraire le mica brut par explosions de poudre, en charges modérées. Pour certains usages industriels, on n'opère l'extraction ni par explosion, ni par broyage, mais par arrachage : on emploie pour cette opération des machines spéciales faites aux Etats-Unis dont un des principaux fabricants est la « National Gum and Mica Co », de New York, et une autre société de Pittsburgh. Les morceaux explosés sont recueillis aussitôt, triés à la main et emmenés à l'atelier de cassage. Là les cristaux sont fendus grossièrement et débarrassés des matières inutilisables. Puis ils sont envoyés à l'atelier de façonnage dit « au pouce » ou « de classement » : les plaques y subissent un nettoyage

TABLEAU I. — *Pouvoir diélectrique de certains micas* (d'après A. Klautzsch).

ÉCHANTILLONS	MICAS ET LEURS PROVENANCES	RÉSISTIVITÉ EN 10^6 MÉGOHMS-CM	ÉPAISSEUR DES PLAQUES EN MM	TENSION LIMITE DE RUPTURE EN VOLTS
1	Africain oriental	90	0,12	12 000
2	Id.	98	0,17	10 à 12 000
3	Id.	90	0,21	11 000
	Américain, basse catégorie, tacheté	38	0,25	11 000
1	Canadien ambré	90	0,25	12 400
2	Id.	70-80	0,25	11 600
	Indien, le meilleur rubis	120	0,25	18 000

Digitized by Google

TABLEAU II. — *Constante diélectrique et rigidité diélectrique de certains micas*, par Ernest Wilson et T. Mitchell.

NUMÉROS DES ÉCHANTILLONS ESSAYÉS	PROVENANCES DES MICAS	DESCRIPTIONS DES MICAS	RIGIDITÉ DIÉLECTRIQUE EN MILLIONS DE VOLTS MAX. PAR CM POUR UNE ÉPAISSEUR EN MM				CONSTANTE DIÉLECTRIQUE	
			0,1	0,2	0,3	1	épaisseur en mm	capacité inductive spécifique
1	Madras	Brun tacheté	1,6	1,2	0,9		2,77	2,5
		Brun très légèrement tacheté						
2	Id.	Vert tacheté A	1,3	1,1	0,9		1,93	3,4
3	Id.	B	1,10	0,7	0,5	0,27	1,7	5,1
4	Id.	C	1,3	1,1	0,94		1,43	3,9
5	Id.	Vert taché	1,6	1,2	0,95		1,3	5,5
6	Id.	Rubis très taché	1,9	1,3	1,0		2,4	4,4
7	Id.	Clair vert B	1,7	1,2	0,95		1,73	4,4
8	Id.	C	1,7	1,2	0,9		1,61	4,5
9	Id.	D	2,0	1,3	0,8		1,8	3,9
10	Bengale	Tacheté	1,1	0,6	0,2		2,04	4,3
11	Id.	Rubis très taché	1,6	1,4	1,2		2,5	4,7
12	Id.	Blanc	2,5	1,3	0,4		1,4	4,2
13	Id.	Jaune	2,1	1,4	0,9		1,4	2,8
14	Id.	Rubis clair	2,1	1,4	0,9	0,72	1,9	4,2
15	Canadien	Ambré A	1,5	1,1	0,8	0,5	2,1	2,9
	Id.	B						3,0
	Id.	C					1,4	2,9
16	Amérique du Sud	Tacheté	1,0	0,6	0,4			5,9
17	Id.	Rubis clair	2,1	1,4	0,9			

et un fendage plus complets. La proportion entre le mica façonné au pouce et le tout venant de la mine amené à l'atelier de cassage est de 3 à 10 pour 100 maximum, la moyenne d'un rendement à 5 pour 100 étant considérée comme très riche.

Le « scheidage » s'opère sur de longues tables au moyen de marteaux ou de solides couteaux de fendage à deux tranchants en forme de V et longs de 3 pouces (7,6 cm). La séparation des lamelles ayant une finesse de 1/500 ou 1/1000 de pouce se fait à la main. Bien des appareils, machines ou procédés brevetés ont été inventés pour supprimer le travail à la main (fluide inséré entre les feuilles, système de séparation par adhésion, etc.); mais avec ces procédés on n'a pu encore obtenir des produits plus uniformes que ceux obtenus à la main. On peut consulter aux pages 317 et 327 de l'ouvrage de M. H. de Schmid la liste des brevets pris de 1901 à 1910 au Canada et aux Etats-Unis pour machines à fendre et façonner le mica, ainsi qu'à bâtir le carton mica (1).

Emplois principaux du mica dans l'industrie. — Le mica est employé dans l'industrie en général sous des formes diverses : à l'état brut, en paillettes, en poudre, broyé, ou en déchets moulés (micanite).

Nous allons passer en revue quelques-unes des applications industrielles actuelles de ce minéral : c'est dans l'*industrie électrique* principalement que le mica joue un grand rôle, à cause de ses propriétés isolantes.

(1) FITTS R.-F; Préparation du mica dans les fabriques des Etats-Unis. *Mineral Industry*, 1908, p. 717.

ISOLANT. — Il n'a pas besoin d'être blanc; il suffit qu'il soit exempt de roches étrangères. On ne rencontre, jusqu'à ce jour, dans aucune autre substance, pour le dur service quotidien électrique, un isolant idéal comme le mica; car il est indispensable pour l'infusibilité, pour la grande résistance chimique et mécanique, la rigidité diélectrique élevée, l'insensibilité aux variations usuelles de température, l'inattaquabilité aux acides et aux gaz, pour la parfaite impénétrabilité de l'humidité, le clivage, la flexibilité et le prix de revient. Le mica blanc, quoique de plus grande rigidité diélectrique, ne convient pas pour les usages électriques. Les sortes que préfèrent les techniciens sont la lépidolite moelleuse de l'Inde et le mica ambré du Canada. Ce dernier a environ moitié de la rigidité diélectrique des autres variétés employées. Quand il est essayé en feuilles de ,0,02 pouce ou 0,03 pouce d'épaisseur, le mica supporte environ 2 000 v par millimètre. Avec le blanc, le rubis et le vert tendre, la tension par millimètre pour produire la rupture est environ la même pour chaque et varie de 3000 à 4000 v. Le mica ambré est plus cher et difficile à cliver. Les qualités les plus dures sont les meilleur marché; en général, plus le mica est dur, plus réduit est le coût du clivage et moindre le déchet.

MICA POUR COLLECTEURS. — Pour isoler les segments de collecteurs l'un de l'autre, le mica est invariablement employé. Dans le cas où le mica provoquerait des troubles de commutation, il est bon d'effectuer parfois un grattage soigné soit à l'aide d'une petite fraise entraînée par un moteur, soit au moyen d'un morceau de scie à métaux emmanché dans un bout de bois, si l'on opère à

Digitized by Google

la main. Pour plus de détails à ce sujet, consulter « le mica et les troubles de la commutation » dans l'« Industrie électrique », page 435-436, t. xxvi, Paris, 25 novembre 1917.

Le mica de l'Inde convient pour le garnissage des rainures d'induit et le mica ambré du Canada pour les collecteurs.

Le mica est aussi employé souvent pour l'isolation des enroulements, fils et barres d'armature, spécialement ceux destinés aux tensions élevées entre les conducteurs de l'armature et le noyau de fer.

Les petites feuilles, même celles contenant des inclusions de tache noires d'oxyde de fer, servent pour les travaux moulés de toute sortes et pour les tubes. On en fait des rondelles pour isolement dans les rondelles fusibles et autres applications électriques.

L'emploi croissant chaque année dans la construction des machines dynamo-électriques, comme isolant, de plaques de mica de grandes dimensions avait raréfié le stock et augmenté le prix de cette matière minérale. Divers essais furent tentés pour remplacer le mica par un produit artificiel. On peut citer, entre autres, la syrolite, produit obtenu de la séparation du lait. Mais ces expériences ne donnèrent pas de résultats satisfaisants, le mica réunissant plus que toute autre matière, jusqu'à ce jour, les propriétés d'isolation et d'incombustibilité. D'où est venue l'idée d'utiliser les déchets de mica de petites dimensions. Après de nombreuses tentatives, on est arrivé à fabriquer un produit presque parfait, composé de résidus de mica moulés et préparés sous toutes les dimensions et sous toutes les formes désirables : il lui a été donné le nom de *micanite* ou *mica board*. MM. C.-W. Jefferson et A.-H. S. Dyer, les inventeurs américains de ce produit, en ont fait leurs premiers essais en 1892. Ce nom de micanite est breveté par la Mica Insulator C°, de Schenectady, près de New-York. Différents procédés ont été et sont employés pour cette fabrication. La micanite, d'après M. G.-H. Fletcher (*Electrician*, London, 21 mai 1909), se prépare en collant des feuilles de mica avec la gomme laque : on les fait sécher sous pression à une température de 100°. Pour les alternateurs, la meilleure façon de procéder à l'isolement des enroulements serait de poser la micanite avant dessiccation, de la comprimer sur place et de la sécher à haute température. Entre les couches de fil on interpose du mica en feuilles avec une couche de papier verni ou parcheminé. Pour la rigidité diélectrique obtenue par cette micanite, consulter le paragraphe précédent de la présente étude sur la rigidité et la constante diélectriques.

En 1910, une fabrique allemande superposait des feuilles de mica pur de petites dimensions assemblées au moyen d'un agglomérant fusible ; on faisait disparaître la presque totalité de cet agglomérant par une forte compression à haute température. Un article de « The Electrician », London, 6 mai 1910, sous la signature de M. R. Fischer, tout en prônant la modicité du prix de revient des tubes isolants fabriqués avec la micanite ainsi faite, reconnaissait qu'il sétaient notablement moins isolants que les tubes en mica pur. En janvier 1911, M. M. Meirowsky prenait un brevet français pour un nouveau procédé et appareil pour fabrication des plaques en mica. En octobre 1912, M. C. Fischer prenait un brevet anglais pour plaques de mica adéquates pour résistances électriques et emplois similaires. Ce procédé consiste en rivure de fragments de micas au moyen de fils ou bandelettes de résistance. Le « London Journal of Society of Chemical Industry », p. 796, t. xxxii, n° 15, du 15 août 1913 a donné une analyse de ce brevet intéressant.

On a fait d'autres essais sur de nombreux isolants comparativement avec la micanite, sur la tenue de laquelle on a fait des expériences par échauffement permanent. Mais, jusqu'en 1913 du moins, il a été reconnu qu'en dehors de l'amiante et de l'ohmulit, la micanite seule était capable de conserver la température de 125° pendant un an sans être détériorée de quelque façon que ce fût.

Une sorte de natte de mica soutenue par une armature de fil de fer est employée par la Mica Boiler Covering Co Ltd. de Toronto et Montréal comme isolateur thermique pour couverture de chaudières en particulier et pour protection contre le feu en général.

Combinaisons de diverses matières avec du mica comme isolants électriques. — En dehors de la micanite, il existe comme isolants électriques de nombreuses combinaisons de matières les plus diverses associées à du mica, et qui ont fait l'objet de maints dépôts aux Bureaux de brevets officiels de Paris, Londres, New-York, etc.

Pour en donner une idée, nous citerons au hasard quelques-uns des mélanges isolants déposés à fin 1913.

Caoutchouc durci, micanite et amiante (R. N. Pratt);

Fibres végétales, mica et magnésie (comme liant) (Johann Billwiller);

Amiante, mica et guttapercha (Ch.-W. Jefferson);

Mica ou amiante, résine, huile de bois, huile de romarin ou résine de dammara, (Franz Gustav Kleinsteuber);

Couches superposées d'huile de lin brute et de débris de mica (A. Burdon Campbell Rogus);

Feuilles de mica, amiante et gomme (Ch. Hess).

Mica et gomme laque (Staedtefeld);

Tissu imprégné de borax et recouvert d'une feuille de mica (W.-Ch. Johnson et Sydney Paterson);

Mica, résine et poix (O.-V. Thomas);

Matière ligneuse, copal, laque, gypse, cire, aniline, mica et poix (G. de Pont);

Caoutchouc, mica en poudre, amiante en poudre, térébenthine pulvérisée, soufre, gomme laque (H.-F. Romussen);

Tissu recouvert d'une couche légère de mica et de colle (Ch. T. Lee).

Feuille de mica, traitée avec de la gomme ou de la résine par la chaleur (A. Tenmerholm et Ch. T. Petersen);

Amiante, alcool, gomme laque, mica et alun (O. Steles);

Digitized by Google

Alcool, gomme laque, amiante, craie, tolu et mica (A.-C. Thompson); etc., etc.

On peut consulter à ce sujet : l'article de M. Jean Escard aux pages 464-472 de la « Revue Electrique », du 30 juin 1909 t. XI (Paris) qui traite de la composition, analyse et essai des isolants électriques à base de matières minérales (soufre, mica, amiante, etc.); l'analyse (publiée à la page 668 du tome XXXIV du n° 12 du « London Journal of Society of Chemical Industries » du brevet américain, pris le 11 mai 1915 pour matière isolante à base de mica en poudre, par la Westinghouse Electric and Manufacturing C°.

Nous donnons ci-dessous un résumé des essais faits par M. R. Atkinson, ingénieur en chef du Canadian Railway, pour démontrer le pouvoir isolateur au point de vue thermique du mica :

Genre d'isolation.	Abaissement de température en 5 heures degrés C	Température à la fin de la 5e heure degrés C
Chaudière sans revêtement..	84	128
Mélange d'amiante.....	53	159
Blocs de magnésie.....	33 3/4	178 1/4
Bois avec espace d'air.....	33 3/4	178 1/4
Amiante et bois.....	30	181
Mica.....	20	192

H. de Schmidt, dans son ouvrage déjà cité, dit ce qui suit à la page 312, à propos de revêtements de tuyaux et chaudières à vapeur avec du mica en bribes qui y conserve la chaleur :

« Les propriétés isolantes supérieures de recouvrement du mica sont dues pas tant seulement aux propriétés non conductrices que possède le mica qu'à l'existence de beaucoup d'interstices pour l'air dans le revêtement. On a trouvé que, 100 étant pris comme base de la perte par condensation dans un tuyau à vapeur nu, la perte pour le même tuyau recouvert par une chemise en mica équivaudra à 12 seulement, soit une économie effective de 88 pour 100 (1). »

(1) Turner und Hobart. *Die Isolierung elektrischer Maschinen*. Berlin 1906.

Klautzsch (A.). Cahier 39 du *Zeitschrift fur Elektrotechnik* Berlin 1911.

Thompson (Silvanus Philipps) Page 101 de *The Optician and Photographie Trade Journal*, London 1912.

Wiggins (P.) and Sons Article dans l'*Electrical Review*, (emploi du mica comme isolant dans les appareils électriques) Londres 11 octobre 1912.

Fleming (A.-P.-M.) et Johnson (R). The use of mica in the insulation of electrical apparatus (étude 1° du mica brut 2° des produits du mica; 3° du mica pour commutateurs; 4° d'autres applications du mica), dans le n° de *l'Electrical Review* de Londres 20 septembre 1912.

Fleming et Johnson : Les emplois du mica pour l'isolation des appareils électriques. Deux articles dans *Le caoutchouc et la guttapercha*. Paris 1913.

Le mica et ses applications t. XIV, p. 314 de *L'Eclairage électrique*. Paris.

Le mica, t. IV, p 59 2e série de *l'Electricien*. Paris.

Autres applications en électricité. — Le mica a d'autres applications multiples en électricité pour la fabrication des coupe-circuit, des globes de lumière électrique, des plaques de condensateurs employées en grande échelle par les stations de télégraphie sans fil (minces feuilles de mica clair sans défaut, mesurant 4,5 pouces anglais par 4,15 (300 de ces plaques pèsent une livre anglaise), des paratonnerres, des téléphones (récepteurs), etc...

En plus des applications électriques, le mica en a d'autres multiples que nous placerons dans deux groupes distincts : les emplois du minéral : 1° en *plaque*; 2° en *paillettes* ou *poudre*.

Quelques emplois du mica en *plaques*, *lames*, *lamelles* ou *feuillets* :

Comme *accessoires de poëles, fours et fourneaux* :

De grandes lames de muscovite claire en quantité et de phlogopite claire (très peu) sont utilisées pour la fermeture transparente de la partie antérieure de certains poêles, fourneaux et fours à anthracite et à pétrole, depuis 1890, époque où les Etats-Unis en firent une grande consommation pour cet usage; depuis lors, ils continuent à l'employer pour le même objet. Des Etats-Unis cette application du mica s'est répandue de plus en plus dans les diverses parties du monde.

Comme *verres de lampes* :

L'industrie des tubes de lampes consomme beaucoup de mica de grande taille, blanc, qui a moins de tendance à brûler ou à mousser et est plus transparent. Pour cet usage, les micas de l'Inde et des Etats-Unis sont seuls employés.

Comme *pare-bise ou écran* :

Pour le devant des voitures automobiles et les aéroplanes.

Comme *pièces de lunetterie* :

Le mica est employé en optique et lunetterie pour la fabrication des verres recuits et des lunettes protectrices d'automobiles.

Comme *miroirs* et *facettes de lanternes et lampes* :

Le plus vieil usage du mica était comme accessoire de miroirs, lampes, lanternes et clôtures de fenêtres : les nombreux « specula » en mica trouvés dans les tombes des habitants préhistoriques du globe en font foi, entre autres les tas de mica trouvés dans les sépultures des bords du Lake Superior, et de l'Etat d'Ohio, aux Etats-Unis, provenant des autochtones précolombiens de ces régions. — Le mica entrait dans la composition des lampes à huile de la Grèce et de l'Italie anciennes. Depuis des siècles, les villes de Patna et Delhi, dans l'Inde, ont servi de marchés de mica pour verres de lanternes en usage dans les temples et pour les processions nuptiales hindoues.

Seneca (Lucius Annæus), dans ses « Quœstiones naturales » et Plinius (Caïus Secundus) dans son « Historia naturalis » parlent des « specularia » employés comme les vitres modernes dans les appartements, et du « lapis specularia » servant de miroir. Du reste, cette pierre spéculaire de mica a donné lieu à la science ou art spéculaire, art des temps anciens relatif à la fabrication des

Digitized by Google

miroirs. Boëtius de Boot, en 1647, parle du lapis specularis ou « fraweneys » employé pour lanternes et fenêtres.

Comme bibliographie de ce dernier usage, on peut consulter les ouvrages suivants (1)

On s'en sert encore de nos jours en Russie pour facettes peintes de lanternes à illuminations.

Comme *carreaux de fenêtres* :

De grandes plaques de mica servent de fenêtres dans les ateliers industriels où des conflagrations sont à redouter, le verre à vitre se brisant vite, ainsi que dans les tourelles des navires de guerre.

On emploie encore le mica comme carreau de fenêtres dans l'Etat de Goyaz (Brésil), où le minéral est en gros blocs, au Pérou, en Sibérie, chez les indiens Pueblos de l'Arizona.

Comme *toiture* :

La plupart des cabanes des Alpes ont de la micachiste comme toiture :

Comme *protecteur de gravures* :

Le mica sert d'enveloppe protectrice des images d'icônes dans les églises russe, des cartes géographiques d'officiers en campagne et des documents d'identité.

Comme *ignifuge :*

On l'emploie aussi dans les casques protecteurs contre l'incendie.

Comme *décoration de petit meubles* :

Le mica sert dans divers pays primitifs (comme en 1796 en Sibérie) à divers objets décoratifs, boîtes à jeux, tables de toilette.

Comme *parties intégrantes et protectrices de divers appareils de précision* :

Pour les boussoles marines, pour les diaphragmes des phonographes et des gramophones, pour la fabrication des plaques photographiques et des films pour voyageurs en exploration.

Comme *base de moulage* (2).

Quant au mica en *paillettes* ou en *poudre* (pour la fabrication duquel par un procédé et un appareil perfectionnés spéciaux la « Mica Boiler Covering Co ltd » des Etats-Unis avait pris un brevet français le 5 juin 1902), nous citerons, entre beaucoup d'autres, les applications suivantes :

Comme *base de pâte céramique :*

Les pâtes céramiques et les accessoires du bâtiment peuvent contenir du mica. On ne peut les utiliser à ces usages qu'à un grand état de division ; il servirait de fondant, si on pouvait l'obtenir à très bas prix. A consulter à cet égard un article publié sous la signature de M. Eug. Ackermann et le titre de « Sur quelques emplois du mica dans la construction, en particulier aux Etats-Unis », dans le n° de septembre 1911 de la « Revue générale céramique ». Un brevet a été pris à Londres le 20 septembre 1912 par M. F. Bölling pour une matière liante employée comme fondant ou vernis dans la poterie céramique, ayant un point de fusion entre 500° et 950°C. Des couches légères de mica sont couvertes de la matière fondante, mises l'une sur l'autre, puis soumises simultanément à une haute pression et à une température suffisante pour fondre la matière liante (binding material).

Mélangé avec du ciment et de la laque en écaille (shellac), le mica forme une excellente composition plastique. Le mica donne du brillant aux tuiles décoratives.

Comme *matière lustrante du papier peint ou de tenture :*

Le glaçage, vernissage ou lustrage argenté (qualité de 160 à 200 mailles) du papier peint ou de tenture est dû à un mica en paillettes très blanc, dont toutes les parties noires ont été éliminées. Les déchets de 2 à 3 mm n'ont pas d'emploi dans cette industrie. Cette fabrication a recours à des déchets produits dans des machines américaines spéciales qui travaillent par arrachage et non par broyage : la poudre arrachée est encore brillante et flotte sur l'eau, tandis que celle broyée va au fond de l'eau. Les usines françaises se fournissaient avant la guerre de cette poudre exclusivement aux Etats-Unis. Elle est fabriquée en 3 grosseurs : la grosse, la moyenne et la fine. Le fabricant de papier peint la mélange avec de la colle pour imprimer sur ses machines exactement comme il imprime ses couleurs, c'est-à-dire, qu'au lieu de mettre de la couleur sur le cylindre, on y met la satinette ou mica. Nous avons sous les yeux deux échantillons de papier de tenture de la maison Turquetil utilisant le mica : l'un, à rayures, est fait avec impression sur le cylindre ; l'autre, moiré, est fait avec un fond de mica qui a été ensuite gaufré.

Comme *empois des tissus grossiers de coton.*

Comme *enduit pour cheminées de fours.*

Comme *ignifuge :* il entre dans la composition de divers produits. Combiné avec de l'agar-agar, il tient les peintures à l'abri du feu.

Comme *décor de fleurs artificielles :* les modistes en saupoudrent les fleurs des chapeaux.

Comme *poudre à sécher l'écriture.*

Comme *décor de cartes* postales, d'images et d'impressions diverses. Les paillettes sont mélangées à des solutions de gomme et de vernis qu'on applique au pinceau et qu'on saupoudre ensuite.

Comme *lubrifiant lourd :*

La qualité savonneuse et graisseuse du mica, qu'il a en commun avec le graphite et le talc, fait préconiser son usage pour les essieux et les coussinets, quand il est dégagé de toute matière sablonneuse. Etant exemptes de friction et ayant même de l'attraction capillaire, les pellicules de mica maintiennent l'huile et la graisse sur les coussinets.

(1) X... Le lucerne antiche d'Ercolano. Napoli 1792. *Overbeck (professeur Johann Adolph von)* Pompeji, Leipzig.

Brumer. *Gewerbe und Künste bei den Griechen und Römern.*

Von Muller (Iwan). *Handbuch der Klassischen Altertunswissenchat Die Griechischen Privataltertümer.*

Blumner H. *Die Romischen Privataltertümer.*

(2) H.-J. Hannover a. à la page 210 du t. VI, série 5 du *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, Paris 1900, traité du moulage sur mica des préparations pour métallographie.

Digitized by Google

Comme *partie constituante de certaines poudres de guerre :*

En pyrotechnie, dans la fabrication de certaines poudres au mica (constituées par un mélange de nitroglycérine avec des écailles de mica finement divisées) le mica broyé absorbe la nitroglycérine et évite ainsi les explosions.

Dans certains explosifs c'est un substitut pour la nitroglycérine.

Comme *isolateur de matières collantes :*

Pour le matériel de couverture qui s'enroule, le mica empêche la surface de coller.

Comme *conservateur de caoutchouc :*

Mélangé à l'huile lourde, le mica conserve le caoutchouc servant à fermer les trous d'homme des chaudières.

Comme *alcalifère :*

Du mica alcalin ou alcalifère on retire de l'alcali. Voir à ce propos le brevet anglais pris le 18 novembre 1912 par M. E.-W. Jungner de Kneippbaden (Norrköping, Suède). Le minéral est finement pulvérisé, mélangé avec de la chaux, de l'hydroxyde de calcium ou du carbonate de chaux, et chauffé à 1 700° à 2 000° ou plus dans un courant de vapeur surchauffée ou de dioxyde de carbone dans un four électrique. Une double décomposition a lieu, un minerai calcaire, tel qu'un feldspath de chaux étant formé et les oxydes, hydroxydes ou carbonates de métaux alcalins étant volatilisés et condensés.

Comme *médicament* (?) :

Le mica entre dans la composition de divers médicaments en Chine et dans l'Inde. Pour ce qui est de ce dernier pays, le rajah Sir Sourindro Mohantagore énumère 224 médicaments indigènes dans lesquels le mica entre comme élément principal. Les Hindous trouvent dans le mica noir un remède contre la dyssenterie.

(*A suivre.*)

Désiré PECTOR,
Conseiller honoraire du Commerce extérieur.

(1) **Bibliographie générale de tous les emplois du mica :**

MITCHELL (H. C.); A new use for scrap mica. *Journal of the Federated Canadian Mining Institute*, 1897, t. II, p. 93.

JOHNSTONE (A.); Production of mica and its uses. *Journal of Society of Chemical Industries*, 1899, t. XVIII, p. 877.

SCHNATTERBECK (C. C.); Mica : its uses and value. *Engineering and Mining Journal*, 1903, t. LXXV, p. 484.

L'industrie actuelle du mica. *Echo des Mines*, 29 septembre 1904, p. 1167, Paris.

COLLES (Geo. Wetmore); Mica and mica industry. *Journal of the Franklin Institute*. Philadelphia, septembre-décembre 1905. (Etude sur l'industrie du mica, sa minéralogie, géologie, gisements, historique, extraction, emplois et statistiques. C'est un ouvrage d'ordre industriel, plus pratique que théorique ou scientifique.)

MAX DE NANSOUTY; Le mica et ses usages. *Journal technique et industriel*, Paris, 16 juin 1907.

BELL (B. T.); The industrial uses of mica. *Journal of the general Mining Association of the Province of Quebec*, Québec, t. I, p. 330.

CIRKEL (F.); Mica, son exploitation et ses usages. *Rapport de la Division des mines du ministère des Mines*, Ottawa.

TERKEL (Fritz); Mica industry in Canada. *Engineering and Mining Journal, New-York*, 18 avril 1908, n° 16;

Mica its uses and prices, *Mining Journal*, Brisbane, 1911 :

Le mica. *Revue polytechnique*, Genève, 25 octobre 1913.

STERRETT (D. B.); Future supplies and uses of mica. *Mining and Scientific Journal*, octobre 1913.

Assemblées générales

Comptoir national d'Escompte de Paris.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 28 AVRIL 1919.

L'assemblée générale s'est tenue le 28 avril sous la présidence de M. Paul Boyer, président du Conseil d'administration.

Après avoir entendu les rapports du Conseil, de la Commission de contrôle et des Commissaires, l'assemblée a approuvé à l'unanimité les comptes de l'année 1918 qui se soldent malgré l'augmentation croissante des charges, par un bénéfice de 15 797 464,71 fr, et a décidé la répartition de 35 fr par action et de 4,757 fr par part de fondateur.

Bien que l'exercice ait été particulièrement troublé par les événements militaires et les précautions exceptionnelles qu'il importait de prendre, le Comptoir a pu assurer sans interruption le service de ses Agences de Paris et de la Banlieue ; les Agences en France, dans les Colonies et à l'Etranger ont réalisé de nouveaux progrès.

En dehors du concours dévoué que le Comptoir n'a pas cessé de prêter aux opérations de crédit du Trésor, notamment aux placements et renouvellements des bons et obligations de la Défense nationale, à l'échange des titres de pays neutres contre ces obligations, et à l'Emprunt de la Libération en rentes 4 pour 100, il a ouvert ses guichets pour l'augmentation du capital et le placement d'obligations de nombreuses sociétés industrielles françaises. Il a participé à l'émission des Bons de la Ville de Paris et de l'Emprunt marocain 5 pour 100.

MM. Jules Rostand et R. Jameson, administrateurs sortants, ont été réélus, et MM. Lem, Naud, Simon et Sommier nommés administrateurs. M. Thirion a été élu membre de la Commission permanente de Contrôle.

Digitized by Google

SECTION DE LÉGISLATION

La réclamation contre la patente et le moyen de différer le paiement

A ce moment de l'année où les feuilles d'impôt, en ce qui concerne la patente des usines qui n'est pas supprimée pour les communes et les départements, arrivent chez les industriels, on nous demande des renseignements qui portent généralement sur la question suivante : Comment différer le paiement au moyen de la réclamation? Nous donnons, dans les lignes que l'on va lire, des indications pratiques.

A la condition de faire sa réclamation dans les trois mois, à compter de la publication du rôle, le contribuable a toujours le droit de protester, mais, en principe, également, la réclamation ne suspend pas complètement l'obligation de payer, car il serait trop facile, comme chacun le comprend, de se procurer des délais au moyen d'une réclamation, même téméraire, puisque la procédure administrative est gratuite; il y aurait, d'autre part, une certaine injustice à imposer au réclamant la nécessité *absolue* de payer *l'intégralité* de la somme, en faisant abstraction complète de la réclamation ; pour maintenir une politique du juste milieu, deux systèmes ont été successivement admis par la législation ; l'un est celui de la loi du 21 avril 1832, déjà modifié par la loi du 6 décembre 1897, l'autre est celui de la loi du 13 juillet 1903, sous laquelle nous nous trouvons encore.

Dans le premier système, la réclamation avait un effet automatique sans qu'aucune explication fut nécessaire de la part du réclamant : par le seul fait qu'elle était régulière, elle limitait l'exigibilité de la somme inscrite dans la feuille d'avertissement aux mensualités échues au moment de la réclamation et aux trois mensualités suivantes ; pour employer des expressions beaucoup plus faciles, le législateur admettait en principe que la réclamation devait être jugée dans les trois mois de sa présentation, que s'il n'en était pas ainsi, l'administration devait être considérée comme en faute de ne pas avoir donné une solution, d'où conclusion toute naturelle : suspension du paiement après le troisième mois à compter de la réclamation.

Le système actuellement en vigueur a été créé pour gêner le contribuable ; il se devait donc à lui-même d'être beaucoup plus compliqué. Est-il besoin de dire que la loi du 13 juillet 1903 a laissé subsister deux principes que l'on ne saurait trop retenir :

Premier principe. L'exigibilité immédiate nonobstant la réclamation de tout ce qui est dû au moment où cette réclamation est faite, sauf, bien entendu, restitution au réclamant, dans le cas où celui-ci gagne son procès.

Comment déterminera-t-on la somme exigible au moment de la réclamation. Cela dépend du moment où la feuille a été envoyée, car c'est une erreur de croire que la patente est toujours payable par « douzième » ; l'article 29 de la loi du 15 juillet 1880 pose, sur ce point, un principe : « La contribution des patentes est payable par douzième, et le recouvrement en est poursuivi par douzième, mais, dans le cas où *le rôle est publié postérieurement au 1er mars*, les douzièmes échus ne sont pas immédiatement exigibles ; le recouvrement en est par portions égales, en même temps que les douzièmes non échus. » Comme le fait remarquer très exactement le code des lois publiques annoté de Dalloz (V. Cont. directes n° 9246), il n'est pas besoin de se lancer dans des calculs savants pour faire l'application pratique de cette règle. Quand une feuille de patente arrive au contribuable après le 1er mars, les mensualités sont représentées par le nombre de mois restant à courir, c'est-à-dire qu'il suffit de diviser le total inscrit sur la feuille par ce nombre de mois ; on devra, chaque mois donc, le paiement par dixième si la feuille est parvenue en mars; par neuvième, si elle est parvenue en avril ; par huitième, si elle est parvenue en mai, etc. Par conséquent, si je reçois ma feuille le 15 mars, je ne dois rien à l'administration ; car je n'ai pas à lui tenir compte des douzièmes échus pour janvier et février et le mois de mars n'est pas encore fini et elle doit se contenter de réclamer la totalité par dixième, dans l'avenir, de façon à ce que les 10 dixièmes, c'est-à-dire le total, soient réglés avant le 31 décembre de l'année considérée, le paiement intégral de la contribution à l'expiration du douzième mois étant une règle dont l'administration n'aime point à se départir.

Deuxième principe. Quand il y a réclamation de la part du contribuable, l'administration n'est considérée comme en faute de ne pas l'avoir jugée que si un délai de six mois s'est écoulé depuis la réclamation ; c'est cette faute présumée qui permet au contribuable de différer le paiement de ce qu'il doit à cette époque. Supposons que le contribuable proteste contre la *totalité* de sa taxation, et envoie sa réclamation le jour même où il reçoit sa feuille, le 15 mars; ce jour là, il ne doit rien ; ni pour les deux mois de janvier et de février écoulés, (puisqu'ainsi qu'il a été dit ci-dessus, la somme n'est plus exigible par douzième), ni pour le dixième afférent au mois de mars, puisque le mois de mars n'est pas échu;

Digitized by Google

l'administration, saisie de la réclamation le 15 mars, devrait l'avoir jugée le 15 septembre; si à ce moment, comme c'est l'évidence même, la réclamation n'est pas solutionnée le contribuable peut suspendre les paiements, à la condition de payer les six dixièmes (du 15 mars au 15 septembre) et les quatre dixièmes ne pourront lui être réclamés qu'après la solution, dans l'hypothèse où elle lui serait défavorable.

A ces deux principes, l'administration en a ajouté *un troisième : pour avoir le droit de différer le paiement, il faut que la réclamation elle-même exprime le désir du contribuable d'user du dit droit*; sans cette précaution, que tant de réclamants oublient, la totalité est toujours exigible, comme si la réclamation n'avait pas été faite; et s'il ne sollicite qu'un dégrèvement partiel, il faut qu'il explique lui-même ce qu'il reconnait devoir, ou, ce qui est la même chose, qu'il donne les bases juridiques du dégrèvement qu'il sollicite : La loi du 13 juillet 1903 le dit formellement « Lorsqu'une réclamation n'aura pas » été jugée dans les trois mois qui suivront sa présen- » tation, le contribuable aura la faculté, dans la limite » du dégrèvement sollicité par lui, de différer le paie- » ment des termes qui viendront à échoir sur la contri- » bution contestée, à la condition d'avoir préalablement » dans sa demande manifesté cette intention et fixé le » montant ou les bases du dégrèvement auquel il pré- » tend. »

Nous pouvons maintenant comprendre pour quels motifs les contribuables, malgré leur réclamation, sont si souvent obligés de payer avant le 31 décembre la totalité de la somme due. Cela tient à plusieurs causes qu'il est facile de préciser par des exemples.

Nous ne parlons pas, évidemment, de ceux qui ont omis dans leur réclamation d'insérer la réserve faite, en leur faveur, par la loi — ils n'ont qu'à se reprocher leur ignorance : « nemo censetur ignorare legem ».

Mais même, dans d'autres cas, par le jeu normal de la loi, les réserves inscrites ne peuvent avoir aucune utilité.

1° Cela peut provenir d'abord de la date à laquelle l'administration a envoyé la feuille d'avertissement. Prenons par exemple une feuille de patente envoyée le 30 juin ; le paiement doit être fait par sixième, puisqu'il y a encore six mois à courir, à compter du 1er juillet au 31 décembre ; supposons que, même sans perdre une minute, le contribuable fasse sa réclamation et l'envoie le 1er juillet, l'administration devrait l'avoir jugée le 31 décembre ; ce sera à ce moment seulement qu'elle aura commis une faute, et que cette faute dispensera le contribuable de payer le solde qu'il devait alors. Mais... au 31 décembre, le contribuable ne devra plus de solde, puisque les six sixièmes (c'est-à-dire la totalité) seront exigibles.

2° Cela peut provenir encore de l'époque à laquelle le contribuable aura fait sa déclaration. Supposons une feuille d'avertissement reçue le 15 avril, le contribuable devra payer par neuvième, il fait sa réclamation au dernier jour du délai, le 15 juillet ; à ce moment il doit, depuis l'envoi de sa feuille, 3 neuvièmes (avril, mai, juin) ; d'autre part, c'est seulement après six mois, à compter du 15 juillet, soit le 15 décembre, que l'administration sera en faute de ne pas avoir jugé la réclamation, et que, comme sanction de cette faute, le réclamant pourra ne plus payer le solde, mais, à ce moment, il n'y aura plus de solde dû, car le réclamant devra en plus des 3 neuvièmes qu'il devait au moment de sa réclamation, les 6 neuvièmes qui ont couru depuis la dite réclamation, c'est-à-dire la totalité.

En réalité, pour que le bénéfice du sursis au paiement ait, en pratique, quelque utilité, il faut supposer la rencontre de deux conditions : d'abord une feuille d'impôt adressée dans les tout premiers mois de l'année, ensuite une réclamation faite dans le plus bref délai à compter de la réception.

C'est ce qui se dégage d'une circulaire du ministre des Finances du 10 septembre 1905 que l'on trouve dans le recueil officiel du ministère des Finances comme annexe à la circulaire du 28 avril 1906 (Direction générale de la Comptabilité publique, circulaire n° 1865 de la Direction générale sous le titre : interprétation de l'article 17 § 7 de la loi du 13 juillet 1903, relatif aux réclamations en matière de contributions directes) ; il importe d'indiquer comment doit être expliquée cette disposition.

Sous l'empire de la loi du 21 avril 1832, les contribuables pouvaient sans aucune formalité préalable réclamer le bénéfice du sursis de paiement trois mois après la présentation de leur demande de dégrèvement ; d'autre part ce sursis s'appliquait à l'intégralité des termes non échus et non pas seulement à la portion constatée de la cote. Dans ces conditions, si minime que fut le dégrèvement sollicité, le contribuable pouvait surseoir au paiement de sommes très importantes.

Le nouvel article de la loi du 13 juillet 1903 innove trois points de vue :

1° Il n'accorde la faculté de sursis qu'à ceux qui, dans leur réclamation même, ont manifesté l'intention d'en faire usage et fixer le montant ou les bases mêmes du dégrèvement ;

2° Il élève, de trois à six mois, le délai passé lequel le contribuable peut réclamer le bénéfice du sursis ;

3° Il limite dans tous les cas « au montant du dégrèvement sollicité » la somme dont le paiement peut être différé.

Par conséquent, passé le délai de six mois tel qu'il est fixé par la loi, et après acquittement des termes échus, le contribuable n'a plus, d'une manière générale, le droit de surseoir au paiement du reliquat intégral de la cote en litige ; il peut seulement s'il en a manifesté l'intention, lors du dépôt de la demande, déduire de la somme restant due, non pas uniquement une portion du dégrèvement proportionnel aux mois restant à courir, mais le montant du dégrèvement sollicité ; le résultat de cette soustraction représente la somme à payer en sutant de termes qu'il en reste à échoir. Ce n'est que dans le cas où le dégrèvement sollicité est supérieur à la somme restant due après versement des termes échus, que le contribuable peut surseoir à tout paiement ; ..... de même si, à l'expiration du délai légal de six mois, le percepteur n'a

Digitized by Google

pas encore exigé le versement intégral des termes échus, lors du dépôt de la réclamation, et les six termes venus ensuite à échéance, le contribuable ne peut refuser d'acquitter cette dette, sous prétexte que le dégrèvement sollicité embrasse plus de la moitié de la cote.

Et la circulaire ministérielle, pour mieux préciser sa thèse, adopte un exemple :

Un contribuable a une patente de 6 000 fr, le rôle de cette patente a été publié le 5 mars, et le 20 mai, le contribuable fait une réclamation demandant une réduction de 500 fr, il déclare dans cette réclamation qu'il a l'intention de bénéficier de la faculté de sursis.

L'administration déclare que le compte du contribuable devra être établi de la façon suivante :

Montant de la cote		6 000 fr
Termes échus lors du dépôt de la réclamation (2/10 puisque la feuille avait été envoyée en mars et la réclamation a été faite le 20 mai, mensualités, mars et avril)	1 200 fr	
Six termes exigibles depuis le dépôt de la réclamation	3 600 fr	
Total	4 800 fr	4 800 fr
Reste		1 200 fr

Il résulte de ce qui précède que le 20 novembre, c'est-à-dire six mois après sa réclamation, le contribuable doit encore une somme de 1 200 fr

D'autre part, le dégrèvement sollicité n'est que de 500 fr

Il peut donc être imputé sur la somme due, le contribuable devant alors seulement la différence de 700 fr

qu'il paiera par moitié pour chacun des mois restant à courir jusqu'au 31 décembre 1917 (350 fr par mois).

Si le contribuable avait sollicité un dégrèvement au moins égal à 1 200 fr, il n'aurait rien à payer pour les deux mois restant à courir, et, à plus forte raison, il n'aurait rien à payer si son dégrèvement total avait été plus fort, c'est-à-dire notamment s'il avait réclamé un dégrèvement total de 6 000 fr, estimant ne pas être taxable. Mais, dans ce cas, on touche du doigt que ce dégrèvement total réclamé ne l'aurait pas empêché de payer 4 800 fr, bien qu'il ait proclamé ne rien devoir.

Pour compléter par un autre exemple la thèse de l'administration, nous allons supposer maintenant que la feuille ait été envoyée le 20 mai et que la réclamation ait eu lieu le 20 août, avec toutes les réserves possibles et imaginables : la patente est payable par huitième, puisque la feuille est arrivée en mai ; le 20 août, au moment de la réclamation, il est dû trois huitièmes : à cela il faut ajouter les six mensualités qui sont dues par le contribuable avant que l'administration ait jugé ; cela fait neuf huitièmes, qui seraient à la charge du contribuable ; il y a donc un huitième de plus que ce qu'il est nécessaire pour que, la totalité étant due, les réserves, en ce qui concerne le non-paiement du dégrèvement sollicité, soient complètement inopérantes.

Si nous voulions résumer tout ce qui précède dans une règle bien pratique, nous dirions ce qui suit :

Le contribuable a intérêt, quand il veut réclamer, à formuler sa protestation légale, non pas dans les derniers jours du délai, comme il en a la douce habitude, mais le plus tôt possible. Il peut suspendre son paiement si, dans les six mois après sa réclamation, il n'a pas été jugé : mais, à ce moment, il doit payer toutes les mensualités échues au moment de sa réclamation, plus six mensualités, à compter de ladite réclamation ; et selon qu'à ce moment il lui restera où il ne lui restera pas un solde dû, la réserve qu'il aura faite pour ne pas payer sur le dégrèvement qu'il aura sollicité sera ou ne sera pas opérante.

Paul Bougault,
Avocat à la Cour de Lyon.

Législation, jurisprudence, réglementation

Taxes sur les paiements des droits de statistique et de la valeur des marchandises importées.

Les quittances du droit de statistique perçu sur la plupart des marchandises importées sont passibles de la taxe de 0,20 fr par 100 fr au lieu du droit de timbre de 0,10 fr ou de 0,20 et, par suite, on s'est demandé s'il y avait lieu de comprendre le montant de ce droit dans le calcul de la valeur imposable.

Consultée sur ce point, la Direction générale de l'Enregistrement des Domaines et du Timbre s'est prononcée dans le sens de l'affirmative pour les motifs développés ci-après dans la décision de l'Administration des Douanes n° 1 486 :

« Les quittances de droits de statistique donnent lieu à la perception de la taxe établie par l'article 19 de la loi du 31 décembre 1917 sur tous les titres constatant des payements.

» Les mêmes droits sont assujettis à la taxe de l'article 23 lorsqu'ils s'ajoutent à la valeur d'achat des marchandises importées, pour constituer la valeur du marché intérieur, seule à considérer pour la liquidation de la taxe sur les payements.

» Or, loin de faire double emploi, les deux impôts s'appliquent à des faits juridiques distincts, expressément imposés par le législateur, la création d'un titre libératoire, d'une part, l'importation de marchandises destinées à la consommation, d'autre part.

» En d'autres termes, c'est le prix de revient de la marchandise importée qui est envisagé pour la perception de la taxe de l'article 23 ; les quittances des droits de statistique

Digitized by Google

aussi bien que celles des frais de transport, de l'assurance et de tous autres éléments constitutifs de la valeur à l'intérieur, supportent les impôts qui leur sont propres, d'après le régime fiscal qui leur appartient : timbre gradué, timbre des quittances administratives, taxe de l'article 19.

» Ces dépenses, groupées avec le prix d'achat, perdent ensuite leur individualité pour former la valeur à l'intérieur de la marchandise, et supporter à ce titre, dans les conditions tracées par l'arrêté ministériel du 23 mars 1918, la taxe édictée par l'article 23 de la loi du 31 décembre 1917. »

Loi relative au maintien à titre définitif des travaux publics exécutés pendant la guerre.

Adoptée par le Sénat dans sa séance du 16 avril 1919 ainsi que nous l'avons signalé dans le « Bulletin R. G. E. » du 26 avril, p. 83 B, cette loi, en date du 29 avril, a été publiée dans le « Journal officiel » du 30 avril p. 4 487. En voici le texte qui, par son article 5 relatif aux usines hydro-électriques, intéresse certains de nos lecteurs :

Article premier. — Pendant un délai de 18 mois à partir du jour de la publication au « Journal officiel » du décret de cessation des hostilités, aucune action en remise des terrains occupés par réquisition militaire et servant d'assiette à des travaux publics exécutés pendant la guerre actuelle sans l'accomplissement des formalités légales applicables en temps de paix ne pourra être exercée par les ayants droit.

Art. 2. — Des décrets délibérés en Conseil d'Etat, contresignés par le ministre de la Guerre ou par le ministre de la Marine, détermineront ceux des travaux mentionnés à l'article précédent qui devront être conservés définitivement pour les besoins militaires.

Des décrets délibérés en Conseil d'Etat détermineront, parmi les travaux autres que ceux faisant l'objet du paragraphe précédent, ceux qui devront être conservés définitivement pour les besoins des services publics, civils ou concédés, de l'Etat, des départements ou des communes. Ces décrets sont contresignés par le ministre qui a ordonné la réquisition, le ministre des Finances et le ministre de qui relève le service civil intéressé.

Art. 3. — Les terrains occupés par les travaux dont l'administration ne jugera pas le maintien nécessaire seront restitués aux ayants droit, soit d'office à toute époque, soit sur la demande des intéressés après l'expiration du délai fixé par l'article premier ; en cas de demande de restitution, il devra être statué par l'administration, au plus tard dans le délai de six mois après l'enregistrement de ladite demande.

La restitution sera prononcée par décision du ministre compétent, notifiée administrativement aux intéressés.

Art. 4. — Les décrets mentionnés à l'article 2 vaudront déclaration d'utilité publique et auront pour effet de dispenser l'administration de l'accomplissement des formalités prescrites par les titres I et II de la loi du 3 mai 1841 ; toutefois, les arrêtés de cessibilité devront être pris dans les conditions fixées par l'article 11 de ladite loi.

L'expropriation et le règlement des indemnités seront poursuivis conformément aux dispositions des titres III et suivants de la même loi.

Art. 5. — Les terrains occupés par réquisition militaire pour l'établissement d'usines hydrauliques, d'une puissance supérieure à 500 kw, qui ont été installées en vue de la fourniture de l'énergie à des industries privées travaillant pour la défense nationale, bénéficieront des dispositions de l'article premier de la présente loi.

Art. 6. — Les indemnités d'occupation afférentes à la période comprise entre le moment où prendra fin la réquisition militaire et celui où, par application des dispositions qui précèdent, les terrains feront l'objet d'une expropriation, seront réglées en même temps et dans la même forme que les indemnités d'expropriation prévues au paragraphe 2 de l'article 4.

Ces même indemnités concernant les terrains qui seront restitués à leurs propriétaires seront réglées comme en matière de réquisition et d'après les mêmes bases.

Art. 7. — Un règlement d'administration publique déterminera toutes les mesures nécessaires à l'application de la présente loi.

La présente loi, délibérée et adoptée par le Sénat et par la Chambre des députés, sera exécutée comme loi de l'Etat.

Fait à Paris, le 29 avril 1919.

Projet de loi pour une ouverture de crédit de cent millions aux petits commerçants démobilisés.

Le ministre du Commerce a fait signer un projet de loi ouvrant un crédit de cent millions de francs destinés à consentir des prêts aux petits industriels et commerçants, fabricants et artisans rentrés dans leurs foyers après leur démobilisation. Ce crédit sera attribué sous forme d'avances sans intérêts aux banques populaires constituées par la loi du 13 mars 1917. Le montant global des prêts ne pourra être supérieur à vingt mille francs pour chaque emprunteur. La durée des prêts remboursables par annuités ne pourra pas dépasser douze ans

Les bénéficiaires devront justifier qu'ils ont besoin des sommes demandées pour l'achat des matières premières à l'approvisionnement en marchandises nécessaires à la mise en marche ou à la reconstitution de leurs entreprises, pour l'acquisition ou la transformation de l'outillage et du matériel de leurs exploitations ou pour l'acquisition ou l'aménagement de terrains ou locaux nécessaires à l'exercice de leur commerce, de leur industrie ou de leur métier. L'intérêt du prêt ne pourra être supérieur à 3 pour 100 ou inférieur à 2 pour 100.

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF : Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 21. — 24 MAI 1919.

Avis. — Chronique. — Mesure de la capacité dans les câbles armés triphasés en vue de l'évaluation du courant de capacitance. — Bibliographie : Géométrie infinitésimale vectorielle, par A. EGNELL ; Précis de droit administratif et de droit public, par Maurice HAURIOU ; Lettres à l'Académie des Sciences sur l'unification des forces et des phénomènes de la nature, par Alfred LARTIGUE ; Schémas et règles pratiques de bobinage des machines électriques, par F. TORICES et A. CURCHOD, p. 745-746.

Section scientifique et technique. — Note sur un problème d'émission musicale en radiotélégraphie, par T. MINOHARA, p. 747. — Revues, analyses et informations : Relation entre le pouvoir inducteur spécifique d'un électrolyte et le potentiel d'un métal plongé dans l'électrolyte, p. 753 ; Calcul des constantes de la formule du rayonnement de Planck par la méthode des moindres carrés, p. 756.

Section industrielle. — Poste de 900 kw installé sur les canalisations triphasées, 5 250 v, 50 p : sec, de la Compagnie d'Electricité de Marseille, par A. RACAPÉ, p. 757.

Section économique et financière. — De quelques matières premières nécessaires à l'industrie électrique : Le Mica *(suite et fin)*, par Désiré PECTOR, p. 769. — Assemblées générales : Compagnie centrale d'Eclairage et de Transport de Force par l'Electricité (Compagnie d'Electricité de Limoges), p. 772 ; Compagnie générale de Travaux d'Eclairage et de Force, anciens Etablissements Clemançon, p. 772.

Section de législation. — Notes sur l'application pratique de la loi du 15 juin 1906 et des règlements annexes *(suite)*, par A. MONMERQUÉ, p. 773.

Erratum, p. 776.

AVIS. — *Messieurs les actionnaires de la* Revue générale de l'Electricité *sont convoqués en* **Assemblée générale ordinaire annuelle**, *conformément à l'article 30 des statuts, pour le* **mercredi 11 juin 1919**, *à 11 heures, au siège social, 12, place de Laborde, à Paris.*

L'assemblée générale se compose de tous les actionnaires quel que soit le nombre d'actions possédé par eux. Tout actionnaire, pour avoir le droit d'assister ou se faire représenter à l'assemblée générale, doit être inscrit sur les registres de la Société seize jours au moins avant celui fixé pour la réunion.

Mesure de la capacité des câbles armés triphasés en vue de l'évaluation du courant de capacitance. —

A la suite de la publication de cet article publié dans le numéro du 3 mai 1919, tome V, p. 652, nous recevons de M. Brylinski la lettre suivante :

Le problème que résout M. R. Bouzon dans un récent numéro de la « Revue » s'est imposé, dès que des troubles graves, dus à des résonances, se sont produits sur des réseaux de distribution d'énergie électrique, à ceux qui devaient remplacer les lettres des formules par des nombres pour parvenir à des résultats pratiques.

C'est ainsi que j'ai eu l'occasion, il y a plus de quinze ans, de reprendre la question de la capacité des circuits triphasés, après MM. R.-V. Picou, Ch.-Eug. Guge et bien d'autres, pour aboutir précisément (1) à la conclusion qu'a retrouvée de son côté M. Bouzon.

Peut-être y aurait-il intérêt, pour ceux qui désirent travailler à nouveau ces questions sans éparpiller leurs efforts à refaire involontairement du vieux neuf, à relire l'ample discussion consacrée aux surtensions par la Société des Electriciens en 1904 et 1905.

E. BRYLINSKI.

(1) *Bulletin de la Société internationale des Electriciens*, juin 1904, deuxième série, t. IV, p. 394.

Bibliographie : Géométrie infinitésimale vectorielle,

par A. EGNELL, 1 brochure, 127 pages. — M. Egnell, administrateur délégué de la Société d'Electricité Mors ainsi que de la Société Appareillage électrique Grivolas, dont nous annoncions récemment la nomination comme chevalier de la Légion d'honneur, vient de soutenir en Sorbonne une thèse de mathématiques sur la géométrie infinitésimale vectorielle. Le grade de docteur ès-sciences lui a été conféré avec la mention « très honorable ».

Voilà donc un nouvel exemple d'un ingénieur dirigeant d'importantes sociétés industrielles qui, à côté de ses travaux professionnels, consacre ses loisirs à des études scientifiques. Heureux rapprochement de la science pure et de la technique industrielle.

Le sujet que M. Egnell a traité dans sa thèse constitue une application du calcul vectoriel à l'étude de la géométrie différentielle d'un champ dans lequel est défini un vecteur, fonction de point. Les propriétés infinitésimales du champ peuvent être considérées comme une généralisation des

Digitized by Google

propriétés démontrées dans la théorie classique des surfaces. Les courbes, trajectoires orthogonales du champ, satisfont à des propositions analogues à celles relatives aux lignes tracées sur une surface. La théorie des congruences de droites peut être considérée comme un autre cas particulier de la théorie plus générale du champ vectoriel. En ce qui concerne la théorie des congruences, la méthode développée par M. Egnell lui a permis de déduire certaines propositions nouvelles qui complètent cette théorie sur des points particuliers.

Signalons enfin qu'un certain nombre de théorèmes classiques se trouvent démontrés avec une grande facilité, grâce à l'introduction des méthodes propres au calcul vectoriel.

Les électriciens qui s'intéressent à la partie théorique de leur science connaissent les avantages que présente ce calcul tant pour l'exposé didactique des phénomènes qui se produisent dans le champ électro-magnétique que lorsqu'il s'agit de recherches nouvelles. La peine qu'il coûte de se familiariser avec cette méthode de calcul est largement compensée par la clarté et la concision qu'elle permet de réaliser dans les développements théoriques.

Bibliographie : Précis de droit administratif et de droit public, par Maurice Hauriou, professeur de Droit administratif à l'Université de Toulouse, doyen de la Faculté de Droit (1). — Cet ouvrage, à l'usage des étudiants en licence (2e et 3e années) et en doctorat ès sciences politiques, parut pour la première fois en 1892 ; cette longévité n'a été obtenue que par un renouvellement et un rajeunissement complet de l'ouvrage à chacune des nombreuses éditions qui se sont succédées.

Réimprimé en entier chaque fois, l'ouvrage a bénéficié des observations de jurisprudence accumulées par l'auteur pendant l'intervalle et des réflexions suscitées en lui, soit par son enseignement, soit par les notes sur les arrêts du Conseil d'Etat. Il a ainsi continuellement absorbé et de plus en plus digéré et assimilé la substance administrative.

Dans cette neuvième édition, toutes les théories sont poussées à un degré de perfection plus avancé. On remarquera particulièrement la théorie des personnes morales administratives, celle de leurs responsabilités pécuniaires qui font l'objet de développements nouveaux et importants, celle aussi de l'action d office de l'administration, des décisions exécutoires et recours contentieux, spécialement du recours pour excès de pouvoirs, qui ont été l'objet d une nouvelle mise au point.

La quantité de renseignements pratiques rangés à leur véritable place, ainsi que la quantité de suggestions trouvées dans cet ouvrage, permettent rapidement de solutionner par analogie les espèces non prévues.

Enfin cette édition, rédigée après la guerre, contient, par la force des choses, outre une documentation récente sur toutes les questions, des développements nouveaux sur un certain nombre de matières dont l'importance s'est augmentée, telles que l'état de siège, les réquisitions militaires, le nouveau régime des impôts.

Bibliographie : Lettres à l'Académie des Sciences sur l'unification des forces et des phénomènes de la nature, par Alfred Lartigue, ingénieur à la Compagnie française Thomson-Houston, chef du service des tramways, introduction par M. Daniel Berthelot (1). — L'ouvrage de M. Lartigue est un véritable traité de philosophie scientifique dans lequel l'auteur n'a pas craint de donner les formules mathématiques et les dessins géométriques nécessaires ou même simplement utiles pour comprendre et suivre son idée directrice. Mais si M. Lartigue traite certains sujets en mathématicien, il en traite d'autres en poète et en artiste. Nous ne pouvons faute de place, entrer dans le détail des questions traitées par M. Lartigue, nous nous contenterons de donner les titres des principaux sujets examinés.

Dans la première partie, consacrée à la théorie générale, sont traitées les questions suivantes : le théorème d'unification, la loi tricinétique en dynamique pure et en électrodynamique ; la loi tricinétique en thermodynamique la loi tricinétique en biodynamique ; l'unité de l'énergie ; la genèse du théorème ; la loi tricinétique en chimiodynamique, les résonances phénomènales de l'éther ; les résonances phénoménales de la vie.

La seconde partie traite des premières applications : la cinématique thermoacoustique ; le mécanisme de l'acoustique, la cinématique thermosismique, la dynamique acoustique, le son du canon ; le mouvement tricinétique brownien, la lumière et l'éther ; la cosmodynamique tourbillonnaire ; la gravitation et la météorologie tourbillonnaires ; la biodynamique tourbillonnaire végétale et la biodynamique tourbillonnaire animale, la stéréodynamique des atomes-rotors de la radioactivité, la stéréodynamique du magnétisme et de l'allotropie ; la stéréodynamique de la vie ; les circuits éthéromatériels végétaux et animaux ; les résultats obtenus, la suprême énigme.

Enfin dans la troisième partie, M. Lartigue examine les sujets suivants : philosophie naturelle, écoles méthodes, dynamique pure, élasticité, résonance, hydrodynamique, électrodynamique, magnétisme, optique, radioactivité thermodynamique, acoustique, sismologie, chimiodynamique, cristallographie ; atomes rotors, cosmodynamique, gravitation, météorologie, biodynamique végétale et animale.

Bibliographie : Schémas et règles pratiques de bobinage des machines électriques, par F. Torres, professeur à l'Ecole industrielle de Valladolid et A. Curchod, ingénieur E. S. E., professeur à l'Ecole spéciale des travaux publics (2). — L'ouvrage s'adresse non seulement aux chefs et ouvriers d'ateliers mais à tous les électriciens manœuvrant ou réparant des machines électriques. Les auteurs commencent par rappeler quelques notions élémentaires de magnétisme et d'électricité et signalent les applications des phénomènes électromagnétiques et électrodynamiques. Ils donnent ensuite quelques formules et définitions relatives aux machines à courant continu et à courant alternatif. Enfin ils entrent dans le vif de leur sujet et décrivent un grand nombre de schémas de bobinage en signalant tout ce qui est nécessaire pour assurer une bonne exécution à l'atelier. Tous les types usuels de bobinage des machines dynamo-électriques à courant continu et alternatif sont envisagés ainsi que les bobinages des transformateurs statiques. L'ouvrage a été conçu par des techniciens et présente un intérêt essentiellement pratique qui le fera apprécier des ouvriers et chefs d'atelier.

(1) Un volume 23 cm × 15 cm, 1100 pages, édité par la librairie de la Société du Recueil Sirey, 22, rue Soufflot, Paris (Ve). Prix broché, 20 fr, relié, 25 fr.

(1) Un volume 19 cm × 12 cm, 460 pages + xx pages, 158 figures, plus une planche, à part édité par Octave Doin et fils 8, place de l'Odéon, Paris (VIe). Prix broché 6 fr.

(2) Un volume 21 cm × 13 cm, 128 pages, 16 figures, 38 planches de schémas, édité par Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, Paris (VIe) Prix (majoration comprise) 5,40 fr.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Note sur un problème d'émission musicale en radiotélégraphie

L'auteur se propose de démontrer par le calcul que, pour la production d'une émission musicale pure et vibrante, il faut se placer dans le cas de dissonance avec un sens de courant retardé et non pas dans les conditions de résonance rigoureuse; de nombreuses expériences ont confirmé ces déductions théoriques dont le principe est exposé dans l'ouvrage de Steinmetz « Phénomènes électriques de transition et oscillations ».

C'est un fait bien connu (1) que la condition requise pour un circuit destiné à des émissions musicales pures et vibrantes, dans le cas d'un transmetteur à étincelles amorties, consiste à obtenir de l'alternateur une fréquence un peu plus élevée que la fréquence naturelle du circuit d'audiofréquence, ou bien une fréquence d'alternateur qui serait dissonante dans le sens du courant retardé; mais, dans ce cas, la dissonance plus grande que celle suffisante pour obtenir le son musical n'est pas favorable pour l'utilisation efficace de la puissance de la source.

Je vais donner ici la preuve et l'explication de ces faits, que j'ai déduites de nombreux calculs et expériences.

En premier lieu, nous avons à définir les termes suivants : production régulière et continue d'étincelles, production discontinue d'étincelles, production d'étincelles pures et vibrantes.

La production régulière et continue d'étincelles est obtenue quand le réglage de la tension de l'alternateur correspond à des intervalles d'éclatement qui ont une certaine régularité.

La figure 1 *a* montre l'oscillogramme des courbes de tension du condensateur terminal et du courant dans le cas d'étincelles irrégulières; le son de l'étincelle irrégulière correspond alors à un bruit comparable à celui d'une perturbation atmosphérique : des éclatements discontinus se produisent, soit que les trous ne soient pas bien calibrés, soit que le refroidissement de ces trous ne soit pas suffisant, soit encore que les éclatements se succèdent par groupes distincts.

La figure 1 *b* montre l'oscillogramme des courbes de tension du condensateur terminal et du courant, dans le cas d'étincelles discontinues et régulières où le son correspond à une note régulière, mais incommode dans la pratique, quand le son n'est pas musical.

Un son musical pur est obtenu quand les trous sont bien conditionnés et que toutes les dispositions sont convenablement étudiées.

(1) Par exemple, voir la description de M. Holborg : *Proceedings of the Institute of Radio engineers*, juin 1915, t. III, n° 2, p. 112.

La figure 1 *c* montre l'oscillogramme des courbes de

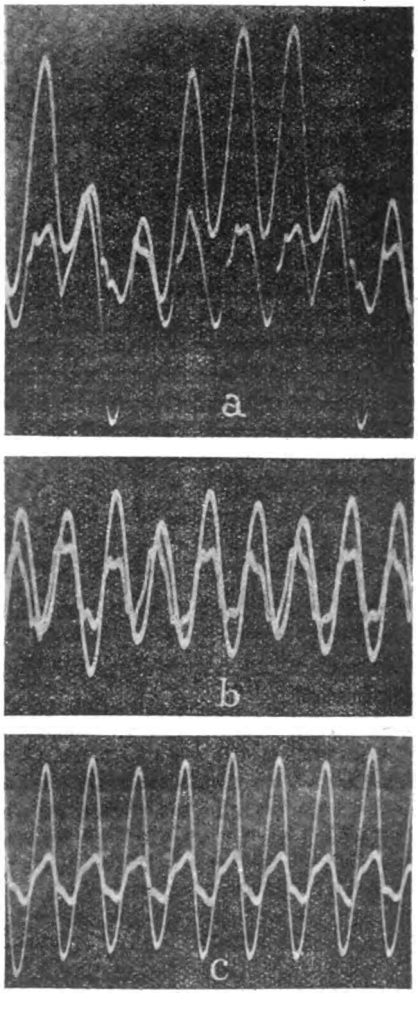


Fig. 1.

tension du condensateur terminal et du courant dans le cas d'un son musical pur, ou tout au moins pouvant

Digitized by Google

être considéré comme tel et qui donne une note musicale aiguë, comme la pratique doit les réaliser.

Le son musical le plus pur se produit quand les intervalles entre les éclatements sont le plus réguliers possible.

Nous allons étudier maintenant la courbe ondulatoire de tension du condensateur terminal dans le cas d'un son musical pur et vibrant.

Nous admettrons que le temps nécessaire à la production de l'étincelle est négligeable, comparé à une demi-période de fréquence de l'alternateur.

La première condition d'une production régulière d'étincelles pures serait $e_0 = 0$, autrement dit, la tension doit repartir de zéro dans le condensateur terminal, dès la production de l'étincelle.

La seconde condition, pour la production régulière d'étincelles, une fois par demi-période, serait $i_0 = -i_\pi$ (1), c'est-à-dire qu'il faut que le courant reprenne la même valeur instantanée, changée de signe, après une demi-période.

La troisième condition est $e_\pi \geq e_{0\sim\pi}$, c'est-à-dire que la tension de production d'étincelles n'est pas seulement la tension après une demi-période, mais une tension plus élevée en valeur absolue que celle qui se développe pendant une demi-période.

La quatrième condition est de $\frac{de_\pi}{d\theta}$ maximum, c'est-à-dire que la tangente de la courbe de tension de décharge, à l'instant où se produit l'étincelle, doit être aussi grande que possible afin de stabiliser une production régulière d'étincelles.

Considérant ces quatre conditions, nous pouvons facilement déduire que la courbe ondulatoire de la tension du condensateur terminal, pour une production régulière d'étincelles pures, prendrait la forme indiquée au diagramme de la figure 2 où

$$e_0 = 0,\ i_0 = -i_\pi,\ e_\pi \geq e_{0\sim\pi}$$

et $\frac{de_\pi}{d\theta}$ maximum, comparé aux autres cas, soit $e_m = -e_\pi$.

Nous pouvons facilement réaliser cette courbe ondulatoire de e et de i, pour un cas idéal de production régulière d'étincelles, au moyen d'un tube de Brown et d'un miroir tournant.

La forme des ondes indiquée par la figure 1 c, où la production d'étincelles est régulière, ne donne pas la courbe véritable au voisinage de l'instant où se produit l'étincelle, par le fait que le mouvement du miroir de l'oscillographe ne peut pas suivre les variations extrêmement rapides de i et e au moment de la production de l'étincelle.

Quand le courant se produit, on a $f < \frac{1}{2\pi a\sqrt{\mathcal{L}C}}$, où f est la fréquence de l'alternateur, a le coefficient de transformation du transformateur, C la capacité du condensateur et $\mathcal{L}$ l'inductance totale ramenée au primaire; la production d'étincelles a tendance à donner lieu à une décharge partielle, à cause de la prédominance des amplitudes des harmoniques plus élevés, si la fréquence naturelle du circuit est plus élevée que la fréquence de l'alternateur.

C'est là une des raisons que nous avons d'ajouter la condition que le circuit doit être parcouru par un courant retardé, afin d'éviter de donner lieu à des éclatements discontinus.

Nous avons une autre raison importante d'établir le circuit pour la condition d'être parcouru par un courant retardé, c'est de faciliter la production de sons musicaux purs.

Dans l'équation primitive (1) de la valeur instantanée du courant i et de la tension e du condensateur terminal, dans le circuit contenant la résistance r, la capacité c et l'inductance $\mathcal{L}$ en série, en tenant compte de la première condition mentionnée ci-dessus pour une production

(1) Voir équations (18) et (19). *Theory and calculation of transient electric phenomena and oscillations* (Steinmetz).

Note du traducteur. — Les équations (1) et (2) indiquées par l'auteur comme reproduisant les équations (18) et (19) de *Theory and calculation of transient electric phenomena and oscillations* (Steinmetz) correspondent aux équations (24) et (25) ci-après de la traduction française de Paul Bunet (H. Dunod et E. Pinat éditeurs 1912), Théorie et calcul des phénomènes électriques de transition et des oscillations, voir chap. VII, résistance, inductance et capacité en série dans un circuit à courant alternatif § 57, p. 96.

(24) intensité du courant

$$i = \frac{E}{Z_0}\cos(\theta - \theta_0 - \gamma) - \frac{E}{Z_0}\varepsilon^{-\frac{r}{2x}\theta}\left\{\cos(\theta_0+\gamma)\cos\frac{q}{2x}\theta + \left[2\frac{x_c}{q}\sin(\theta_0+\gamma) - \frac{r}{q}\cos(\theta_0+\gamma)\right]\sin\frac{q}{2x}\theta\right\} + \varepsilon^{-\frac{r}{2x}\theta}\left\{i_0\cos\frac{q}{2x}\theta - \frac{2e_0+ri_0}{q}\sin\frac{q}{2x}\theta\right\}.$$

(25) différence de potentiel entre armatures du condensateur

$$e_1 = \frac{Ex_c}{Z_0}\sin(\theta - \theta_0 - \gamma) + \frac{Ex_c}{Z_0}\varepsilon^{-\frac{r}{2x}\theta}\left\{\sin(\theta_0-\gamma)\cos\frac{2x}{q}\theta + \left[\frac{r}{q}\sin(\theta_0+\gamma) - \frac{2x_c}{q}\cos(\theta_0-\gamma)\right]\sin\frac{q}{2x}\theta\right\} + \varepsilon^{-\frac{r}{2x}\theta}\left\{e_0\cos\frac{q}{2x}\theta + \frac{2re_0+4x_cx_ci_0}{2q}\sin\frac{q}{2x}\theta\right\},$$

équations qui sont identiques aux équations (18) et (19) et (1) et (2) pour $e_0 = 0$, en écrivant, d'après la traduction P. Bunet

$$s = \frac{x}{r} = \sqrt{r^2 - 4\frac{L}{C}} \quad x = 2\pi fL \text{ réactance inductive où } f \text{ représente la fréquence.}$$

$$Z_0 = \sqrt{r^2 + (x - x_c)^2} \quad x_c = \frac{1}{2\pi fC} \text{ réactance condensatrice.}$$

et en tenant compte pour le cas qui nous occupe où $r^2 < 4\frac{L}{C}$ (cas oscillatoire) qu'il faut avoir recours aux imaginaires, en posant $\sqrt{4xx_c - r^2} = js$.

(1) Voir : Rendement des postes de télégraphie sans fil à étincelles, par H. de Bellescize. *La Lumière électrique*, 24 avril 1915, n° 15.

Digitized by Google

régulière d'étincelles, soit $e_0 = 0$ d'une part, et en remplaçant s par $\frac{x}{r}$ d'autre part, nous obtenons

$$(1)\quad i=\frac{E_0}{Z_0}\cos(\theta-\theta_0-\gamma)-\frac{E_0}{Z_0}\,\varepsilon^{\frac{-\theta}{2s}}\left[\cos(\theta_0+\gamma)\cos\sqrt{\frac{x_c}{x}}\,\theta+\sqrt{\frac{x}{x_c}}\sin(\theta_0+\gamma)-\frac{r}{2\sqrt{xx_c}}\cos(\theta_0+\gamma)\sin\sqrt{\frac{x_c}{x}}\,\theta\right]+\varepsilon^{\frac{-\theta}{2s}}\left[i_0\cos\sqrt{\frac{x_c}{x}}\,\theta-\frac{r}{2\sqrt{xx_c}}\,i_0\sin\sqrt{\frac{x_c}{x}}\,\theta\right].$$

$$(2)\quad e=\frac{E_0x_c}{Z_0}\sin(\theta-\theta_0-\gamma)+\frac{E_0x_c}{Z_0}\,\varepsilon^{\frac{-\theta}{2s}}\left[\sin(\theta_0+\gamma)\cos\sqrt{\frac{x_c}{x}}\,\theta+\left[\frac{r}{2\sqrt{xx_c}}\sin(\theta_0+\gamma)-\sqrt{\frac{x}{x_c}}\cos(\theta_0+\gamma)\right]\sin\sqrt{\frac{x_c}{x}}\,\theta\right]+\varepsilon^{\frac{-\theta}{2s}}\sqrt{xx_c}\;i_0\sin\sqrt{\frac{x_c}{x}}\,\theta,$$

où, d'une part, $E_0\cos(\theta-\theta_0)$ représente la force électromotrice induite de l'alternateur, θ_0 étant la phase à $t=0$, après substitution des variables auxiliaires ci-après :

$$x=2\pi fL,\qquad x_c=\frac{1}{2\pi fC},$$

$$z_0=\sqrt{r^2+(x-x_c)^2},\quad \operatorname{tg}\gamma=\frac{x-x_c}{r},$$

et, d'autre part, C représente la capacité équivalente à celle rapportée au primaire, ou bien encore le produit de la capacité du condensateur par le carré du coefficient de transformation.

En posant

$$\alpha=\sqrt{\frac{x_c}{x}},$$

on a

$$\frac{r}{2\sqrt{xx_c}}=\frac{1}{2\alpha s},\quad \sqrt{xx_c}=x_c\frac{1}{\alpha},\quad \theta_0-\gamma=\theta'_0,$$

et substituant ces valeurs dans les équations (1) et (2), on obtient

$$(3)\quad i=\frac{E_0}{Z_0}\left[\cos(\theta-\theta'_0)-\varepsilon^{\frac{-\theta}{2s}}\left\{\cos\theta'_0\cos\alpha\theta+\left(\alpha\sin\theta'_0-\frac{1}{2\alpha s}\cos\theta'_0\right)\sin\alpha\theta\right\}\right]+\varepsilon^{\frac{-\theta}{2s}}i_0\left(\cos\alpha\theta-\frac{1}{2\alpha s}\sin\alpha\theta\right).$$

$$(4)\quad e=\frac{E_0x_c}{Z_0}\left[\sin(\theta-\theta'_0)+\varepsilon^{\frac{-\theta}{2s}}\left\{\sin\theta'_0\cos\alpha\theta+\left(\frac{1}{2\alpha s}\sin\theta'_0-\frac{1}{\alpha}\cos\theta'_0\right)\sin\alpha\theta\right\}\right]+\varepsilon^{\frac{-\theta}{2s}}i_0x_c\frac{1}{\alpha}\sin\alpha\theta.$$

Appliquons la seconde condition de production régulière d'étincelles mentionnée ci-dessus, soit $i_0=-i_\pi$ dans l'équation (3), nous obtenons

$$(5)\quad i_0=\frac{\frac{E_0}{Z_0}\left[\cos\theta'_0+\varepsilon^{\frac{-\pi}{2s}}\left\{\cos\theta'_0\cos\alpha\pi+\left(\alpha\sin\theta'_0-\frac{1}{2\alpha s}\cos\theta'_0\right)\sin\alpha\pi\right\}\right]}{1+\varepsilon^{\frac{-\pi}{2s}}\left(\cos\alpha\pi-\frac{1}{2\alpha s}\sin\alpha\pi\right)},$$

et en substituant cette valeur de i_0 dans l'équation (4), nous obtenons

$$(6)\quad e=\frac{E_0}{Z_0}x_c\left[\sin(\theta-\theta'_0)+\varepsilon^{\frac{-\theta}{2s}}\left[\sin\theta'_0\cos\alpha\theta+\left(\frac{1}{2\alpha s}\sin\theta'_0-\frac{1}{\alpha}\cos\theta'_0\right)\sin\alpha\theta+\frac{1}{\alpha}\sin\alpha\theta\,\frac{\cos\theta'_0+\varepsilon^{\frac{-\pi}{2s}}\left\{\cos\theta'_0\cos\alpha\pi+\left(\alpha\sin\theta'_0-\frac{1}{2\alpha s}\cos\theta'_0\right)\sin\alpha\pi\right\}}{1+\varepsilon^{\frac{-\pi}{2s}}\left(\cos\alpha\pi-\frac{1}{2\alpha s}\sin\alpha\pi\right)}\right]\right].$$

Les valeurs de i et de e pour le cas idéal seraient déduites des équations ci-dessus, en admettant que nous puissions calculer la valeur de θ'_0 que j'ai été amené à déterminer par la méthode expérimentale, en traçant un certain nombre de courbes pour des valeurs arbitraires de θ_0 (1).

(1) Cependant, si le circuit correspond exactement à la condition de résonance, nous pouvons déterminer facilement la valeur de θ_0 par le calcul, en introduisant la condition de résonance $x=x_0$ et la condition du cas idéal $-e_m=e_\pi$ dans les équations, en sorte que j'ai pu calculer la valeur de θ_0 et la valeur de la racine carrée de la valeur moyenne du courant.

Après une longue série de transformations, j'obtiens la racine carrée de la valeur moyenne de i par la relation

Pour la tension E_0 correspondant à une production régulière d'étincelles, il existe une valeur définie de la

Digitized by Google

phase initiale θ'_0 et $\theta'_0 + \pi$, avec laquelle la courbe ondulatoire de e prend la forme du cas idéal; il se produit alors des étincelles à la même phase θ'_0 et $\theta'_0 + \pi$ alternativement avec l'intervalle régulier de π.

Nous devons enfin tenir compte d'une dernière condition, pour la régularité de la production des étincelles; c'est la cinquième condition, que la variation de e_π due à la variation de θ'_0 soit telle que $\frac{de_\pi}{d\theta'_0}$ soit suffisamment grand, à l'effet de produire les étincelles toujours aux mêmes instants θ'_0 et $\theta'_0 + \pi$.

A titre d'exemple, en admettant les valeurs numériques $E = 100$, $x = 2$, $r = 0{,}5$ dans l'équation (6) ci-dessus, nous obtiendrons plusieurs courbes de e correspondant à la valeur arbitraire de θ'_0, avec un écart de cinq degrés pour chacun des cas :

$\alpha = 1$, condition de résonance rigoureuse;
$\alpha = 0{,}8$, dissonance dans le sens du courant retardé;
$\alpha = 1{,}2$, dissonance dans le sens du courant avancé.

Si je choisis parmi celles-ci les courbes dont la forme se rapproche du cas idéal comme l'indique la figure 2,

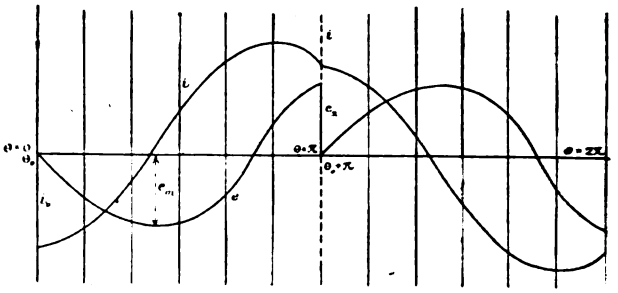


Fig. 2.

j'obtiens les courbes a, b, c, indiquées dans la figure 3, lesquelles correspondent aux trois cas ci-dessus, comme le montre le tableau ci-après :

Tableau I.

	a_1	a_0	a_2	b_1	b_2	b_3	b_4	c_1	c_2	c_3
$\alpha =$	1	1	1	0,8	0,8	0,8	0,8	1,2	1,2	1,2
$\theta'_0 =$	107°	112°	117°	140°	145°	150°	155°	80°	85°	90°

Comme nous pouvons le voir sur les courbes b_1, b_2, b_3, b_4 dans le cas de $\alpha = 0{,}8$, la courbe b_0 du cas idéal pour lequel $e_m = -e_\pi$ doit se trouver entre b_3 et b_4, et la variation de e_π pour les quatre courbes b_1, b_2, b_3, b_4 est relativement grande; en d'autres termes, la production régulière d'étincelles pures a lieu toujours à une certaine phase définie située entre 150° et 155°: par exemple pour 154° approximativement, la force électromotrice induite de la source E_0 étant constante.

Au contraire, nous voyons sur les courbes c_1, c_2, c_3, dans les cas de $\alpha = 1{,}2$, que la courbe c_0 du cas idéal se trouve entre c_1 et c_2, et puisque les valeurs e_π des trois courbes c_1, c_2, c_3 sont approximativement égales, la production régulière d'étincelles peut être obtenue avec une phase initiale $\theta'_0 = 140°$, 145°, 150° pour une même force électromotrice induite de la source.

En d'autres termes, la production des étincelles n'est jamais absolument régulière; celles-ci sont parfois en avance, quelquefois en retard par rapport à la phase définie; le plus souvent la production discontinue d'étincelles est imputable aux causes déjà indiquées à ce sujet.

Cependant, comme nous pouvons le voir sur les courbes a_0, a_1, a_2, pour les cas $\alpha = 1$, le cas a_0 correspond exactement au cas idéal, et la variation de e_π des courbes a_0, a_1, a_2, est suffisamment grande pour une production régulière d'étincelles.

En d'autres termes, la production régulière d'étincelles a lieu pour la phase définie $\theta'_0 = 112°$, mais elle n'est pas aussi stable que dans le cas de $\alpha = 0{,}8$.

Ces résultats montrent clairement que la production régulière d'étincelles donnant un son musical vibrant peut être obtenue en utilisant la dissonance dans le sens du courant retardé, et que celle donnant un son musical faible est obtenue par la condition de résonance; par contre, on n'obtient qu'un bruit désagréable en utilisant la dissonance dans le sens du courant avancé.

Il est facile de démontrer expérimentalement que le son musical vibrant peut être obtenu, si la résistance intercalée dans le circuit ne présente pas de self-induction.

Ce phénomène peut être expliqué d'une manière analogue à celle indiquée ci-dessus.

En substituant $r = 4$, $x = 2$, $\alpha = 2$ comme valeurs numériques dans l'équation (6), nous obtenons les courbes d_0, d_1, d_2, d_3 correspondant à $\theta'_0 = 135°$, 140°, 145°, 150°; comme on le voit sur la figure 3, la courbe d_0 correspond exactement au cas idéal.

Il est à remarquer que les quatre courbes d_0, d_1, d_2, d_3, sont approximativement parallèles pour la phase $\theta'_0 + \pi$, avec une certaine différence de tension de décharge, laquelle facilite l'obtention d'un son musical pur, pour la même raison que dans le cas de $\alpha = 0{,}8$.

$$i = \frac{\text{racine carrée de la valeur moyenne de } E_0}{K.x}$$ où K prend une valeur variant de 0,5 à 0,53 pour tous les cas pratiquement possibles; j'appelle K « facteur de réactance ».

Evidemment, ce facteur devient l'unité quand le circuit est extrêmement dissonant dans le sens du courant retardé.

Digitized by Google

Plus généralement, nous pouvons voir sur la figure 3, que le groupe des courbes c rencontre les courbes de chacun des autres groupes pour des phases très voisines de $\theta'_0 + \pi$, ou bien que les tensions de décharge e_π sont très voisines de celles qui sont défavorables pour une émission d'étincelles musicales pures; par contre, les points de rencontre avec les courbes du groupe b correspondent à une phase très éloignée de $\theta'_0 + \pi$, ce qui facilite la production d'une émission d'étincelles musicalement pures.

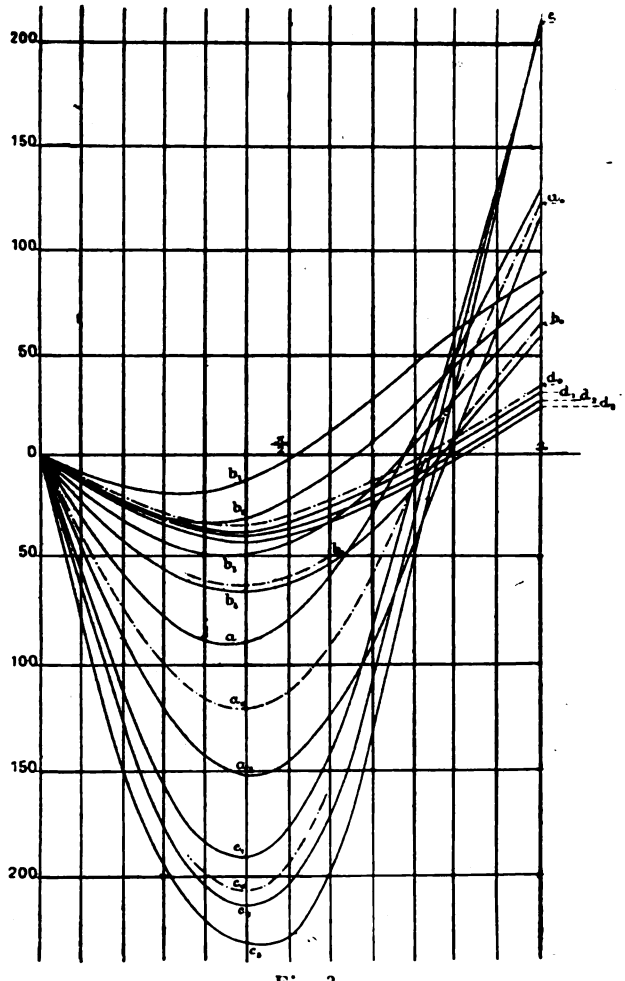


Fig. 3.

D'après ce qui précède, il est de toute évidence que certains groupes de courbes peuvent (1) donner des intersections correspondant exactement à la phase $\theta'_0 + \pi$ pour certaines valeurs de α telles que $\alpha > 1$, et dans ce cas on ne peut jamais obtenir de production régulière d'étincelles.

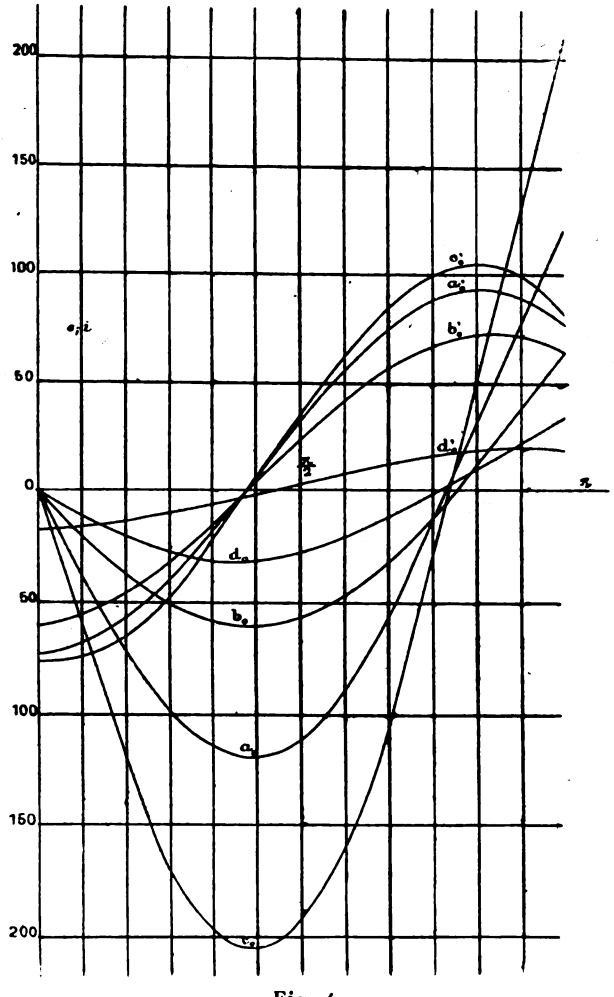


Fig. 4.

Nous allons maintenant étudier la variation du coefficient de la puissance de décharge utilisée par rapport à la puissance fournie par l'alternateur. L'équation de la valeur instantanée du courant dans le cas de la production régulière d'étincelles est obtenu en substituant l'équation (5) dans l'équation (3); on obtient ainsi

$$(7)\qquad i = \frac{E_0}{Z'_0}\left[\cos(\theta - \theta_0') - \varepsilon^{\frac{-\theta}{2s}}\left[\cos\theta_0'\cos\alpha\theta + \left(\alpha\sin\theta'_0 - \frac{1}{2\alpha s}\cos\theta'_0\right)\sin\alpha\theta - \left(\cos\alpha\theta - \frac{1}{2\alpha s}\sin\alpha\theta\right)\frac{\cos\theta_0' + \varepsilon^{\frac{-\pi}{2s}}\left\{\cos\theta'_0\cos\alpha\pi + \left(\alpha\sin\theta_0' - \frac{1}{2\alpha s}\cos\theta_0'\right)\sin\alpha\pi\right\}}{1 + \varepsilon^{\frac{-\pi}{2s}}\left(\cos\alpha\pi - \frac{1}{2\alpha s}\sin\alpha\pi\right)}\right]\right].$$

(1) Il est très intéressant de noter que ce cas coïncide avec le cas de résonance résultant du calcul approximatif de M. H. Yagi : voir « Sur le phénomène de résonance dans le circuit d'un transformateur » *Proceedings of the Institute of Radio engineers*, 1917, t. v, n° 6, p. 433.

Digitized by Google

Dans la figure 4, la courbe a'_0 a été établie à titre d'exemple en donnant les valeurs

$$E_0 = 100, \quad x = 2, \quad r = 0{,}5, \quad \alpha = 1,$$
et $\theta'_0 = 112^0$ (cas idéal) dans l'équation (7).

D'une façon analogue, la courbe b'_0 a été calculée en adoptant les valeurs

$$E_0 = 100, \quad x = 2, \quad r = 0{,}5, \quad \alpha = 0{,}8,$$
et $\theta_0' = 154^0$ (cas idéal);

la courbe c'_0 en adoptant les valeurs

$$E_0 = 100, \quad x = 2, \quad r = 0{,}5, \quad \alpha = 1{,}2,$$
et $\theta_0' = 84^0$ (cas idéal);

la courbe d'_0 en adoptant les valeurs

$E_0 = 100$, $x = 2$, $r = 4$, $\alpha = 1$, et $\theta'_0 = 135^0$.

Calculant en outre la racine carrée de la valeur moyenne du courant par la mesure des ordonnées des courbes a'_0, b'_0, c'_0 et d'_0, j'obtiens les résultats indiqués dans la colonne (3) du tableau ci-dessous

Tableau II.

	TENSION DE DÉCHARGE en volts	RACINE CARRÉE DE LA VALEUR MOYENNE DU COURANT (1)	PUISSANCE APPARENTE DE L'ALTERNATEUR en volts-ampères (2)	PUISSANCE DE LA DÉCHARGE (3)	PERTE DE RÉSISTANCE (4)	PUISSANCE DE LA DÉCHARGE en volts-ampères	cos φ
$\alpha = 1$ $x = 2$ $r = 0{,}5$	121	63	4 470	1 170	1 990	0,262	0,70
$\alpha = 0{,}8$ $x = 2$ $r = 0{,}5$	61,7	50	3 550	492	1 250	0,139	0,49
$\alpha = 1{,}2$ $x = 2$ $r = 0{,}5$	208	71	5 040	2 380	2 520	0,470	0,97
$\alpha = 1$ $x = 2$ $r = 4$	32	13,3	940	82	704	0,087	0,84

Ensuite, j'effectue le produit des volts par les ampères de l'alternateur, et je calcule la puissance de décharge, la perte de résistance, le coefficient de la puissance de décharge par rapport aux volts-ampères de l'alternateur, et le facteur de puissance dans l'alternateur.

Tous ces résultats sont indiqués dans le tableau ci-dessus où nous voyons que le maximum d'utilisation de puissance ne peut pas être obtenu rigoureusement par la condition de résonance $\alpha = 1$, mais pour le cas d'une faible dissonance dans le sens du courant avancé, et dans ce cas, l'effet utile dû à l'introduction d'une résistance ohmique est négligeable.

D'après ce qui précède, nous sommes amenés à conclure qu'il faut toujours employer le cas de dissonance avec un sens de courant retardé pour produire une émission musicalement pure, et pour utiliser efficacement la puissance de l'alternateur, cette dissonance doit être la plus petite possible, dès que l'on obtient des émissions régulières d'étincelles.

T. Minohara.

Digitized by Google

Revues, analyses et informations

Relation entre le pouvoir inducteur spécifique d'un électrolyte et le potentiel d'un métal plongé dans l'électrolyte (1).

1. Critique de la théorie de l'électrolyte de Nernst. — D'après la théorie, généralement admise, que Nernst a donnée pour interpréter le mécanisme de la production du courant dans la pile, la différence de potentiel entre un métal et la solution d'un de ses sels peut être calculée par la relation

$$E = \frac{RT}{nq_0} \log \frac{P}{p}, \qquad (1)$$

où R désigne la constante des gaz, T la température absolue, n la valence du métal, q_0 la quantité d'électricité transportée par ion gramme univalent, p la pression osmotique des ions en solution et P la tension de dissolution du métal. Dans cette théorie, P est une *force expansive* tendant à entraîner les ions du métal vers la solution et contrariée par p, pression osmotique des ions existant déjà dans la solution ou dans les conditions d'équilibre par la somme de la pression osmotique des ions en solution et l'attraction électrostatique entre le métal et les ions en solution.

On ne possède naturellement aucune preuve expérimentale de l'existence soit d'une pression osmotique, soit de ce qu'on appelle la tension de dissolution dans le cas d'un métal plongé dans une solution. On admet simplement que les ions de la solution exercent une pression osmotique, dont la grandeur peut être calculée d'après la loi des gaz et que, par suite, pour que le métal puisse fournir des ions à la solution, il doit exercer une force expansive supérieure à la pression osmotique des ions existant déjà dans la solution. La grandeur de cette force expansive, c'est-à-dire la tension de dissolution du métal, ne peut être calculée qu'en déterminant toutes les autres grandeurs de l'équation (1). Quand on fait ce calcul, en utilisant pour E la différence de potentiel entre les divers métaux et les solutions normales de leurs sels respectifs, les valeurs de P obtenues, varient entre 10^{44} atmosphères pour le magnésium et 10^{-20} atmosphères pour le cuivre.

Le seul fait que des valeurs aussi dissemblables sont incompréhensibles peut permettre de mettre en doute la théorie qui les impose. Mais il existe d'autres raisons. La tension de dissolution d'un métal, telle qu'elle est définie, dépend non seulement du métal mais aussi du solvant dans lequel plonge le métal (2). Or, il est difficile d'imaginer pourquoi une force expansive provenant de l'intérieur d'un métal varierait avec le milieu environnant quand la pression extérieure (pression osmotique) est maintenue constante et pourquoi elle serait inefficace quand le métal est entouré d'air.

Mais il semble qu'on puisse obtenir une preuve expérimentale concluante entre la théorie de la tension de dissolution par le simple calcul soit de la vitesse que devrait avoir un ion en quittant la surface d'une électrode de magnésium dans l'eau, soit de la masse des ions que devrait perdre une électrode de magnésium dans l'eau pour que la tension de dissolution soit équilibrée par la somme de la pression osmotique et de l'attraction électrostatique. Ces deux calculs fournissent des valeurs qui sont non seulement absurdes mais impossibles, la vitesse de l'ion, dans le premier cas, étant supérieure à celle de la lumière et la masse des ions perdus, dans le deuxième cas, étant telle que la densité de la solution devrait être supérieure à celle du métal.

Dans le cas des piles de concentration, le facteur *tension de dissolution* est supposé disparaître puisque des électrodes de même métal plongent dans le même solvant et l'équation (1) devient

$$E = \frac{RT}{nq_0} \log \frac{C_1}{C_2}, \qquad (2)$$

C_1 et C_2 étant les concentrations en ions des deux parties de la pile. Kahlenburgh (1) a étudié l'application de cette formule aux piles de concentration constituées par des électrolytes non aqueux et il a trouvé un écart considérable entre les forces électromotrices observées et les valeurs calculées.

Enfin, la théorie de Nernst ne tient pas compte d'un facteur important qui est le pouvoir inducteur spécifique de l'électrolyte.

2. Théorie nouvelle. — Quand un métal plonge dans une solution, on sait qu'il prend soit une charge positive, soit une charge négative par rapport à la solution. Dans le premier cas, on suppose que les ions positifs de la solution se sont déposés sur le métal, tandis que dans le second quelques-uns des ions du métal sont passés dans la solution. Dans chaque cas il y a un échange d'ions entre le métal et l'électrolyte, qui, sans doute, se produit sous l'influence de forces électriques dont la grandeur doit dépendre, toutes autres choses demeurant égales, du pouvoir inducteur spécifique du milieu. Si donc un métal, plongé dans un liquide de pouvoir inducteur spécifique relativement faible, devient électronégatif par suite de l'émission d'ions métalliques, il devrait devenir encore plus électronégatif quand on le plonge dans un liquide de pouvoir inducteur spécifique plus fort, car ici la cohésion des atomes superficiels du métal devrait être considérablement réduite (à supposer que la cohésion soit due à une attraction électrique) et les ions métalliques devraient migrer plus rapidement vers la solution.

S'il en est ainsi, dans une pile à deux solutions ayant des électrodes de même métal, non seulement l'électrode de la solution ayant le pouvoir inducteur spécifique le plus élevé doit être électronégative par rapport à l'autre électrode, mais la force électromotrice devrait être proportionnelle à la différence des pouvoirs inducteurs spécifiques des deux solutions.

Cette dernière conséquence peut être soumise au contrôle expérimental et suggère une méthode de vérification de la théorie simple ci-dessus.

(1) Dayton L. Ulrey. *Physical Review*, juillet 1918, 2e série, t. XII, p. 47-58, 5000 mots, 3 fig., 5 tabl.

(2) Kahlenburg. *Journ. Phys. Chem.*, t. III, p. 379, 1899.

(1) *Journ. Phys. Chem.*, t. IV, p. 709, 1900.

Digitized by Google

3. Principe des recherches effectuées. — Nous ne connaissons naturellement aucun moyen de mesurer le pouvoir inducteur spécifique des électrolytes ordinaires ; mais on peut effectuer des mesures de force électromotrice en prenant comme électrolytes des liquides de conductibilité très faible. Pour éliminer le plus de variables inutiles possibles, il paraît indiqué de mesurer les forces électromotrices entre des électrodes identiques en utilisant comme électrolytes divers mélanges de deux liquides plutôt qu'un certain nombre de liquides purs.

Divers auteurs ont mesuré le pouvoir inducteur spécifique de mélanges en proportions variables d'alcool éthylique et d'eau, de benzène et d'acétone, d'acétone et d'eau, d'alcool méthylique et d'eau, de chloroforme et d'alcool éthylique, d'éther et de chloroforme, etc.

L'auteur s'est proposé d'utiliser ces mélanges comme électrolytes et de mesurer la force électromotrice entre des électrodes de même métal, l'une plongée dans un mélange des deux liquides ayant une certaine composition, l'autre dans un mélange des mêmes liquides ayant une composition différente. Comme, en général, le pouvoir inducteur spécifique d'un mélange de deux liquides ne varie pas linéairement en fonction de la concentration de l'un ou de l'autre, on a un moyen de déterminer si la force électromotrice dépend de la différence de concentration des deux mélanges ou de la différence des pouvoirs inducteurs spécifiques.

Première série d'expériences. — La méthode tout d'abord utilisée est la suivante. Le fond d'un tube en U est fermé par un tampon de gélatine. On remplit l'un des côtés du tube avec de l'eau, l'autre avec un mélange d'eau et d'alcool éthylique dont on connaît le pouvoir inducteur spécifique. On plonge dans ces liquides des électrodes de même métal et on mesure la force électromotrice par la méthode du condensateur et du galvanomètre balistique.

On a essayé divers métaux comme électrodes, mais les résultats les plus concordants sont obtenus avec le cuivre fraîchement électrolysé. La force électromotrice baisse cependant rapidement, après que les électrodes ont été immergées, et, par suite de la résistance élevée de la pile (plusieurs megohms), on ne peut pas effectuer une lecture instantanément, la durée de charge du condensateur étant d'environ 50 sec. Afin de réduire la résistance des électrolytes et aussi de masquer l'influence des impuretés qui pourraient exister dans l'eau ou dans l'alcool, on substitue aux liquides purs des solutions équimoléculaires de chlorure cuivrique ($Cu\,Cl^2$) dans l'eau et l'alcool : l'auteur pense qu'ainsi le pouvoir inducteur spécifique de chaque solvant est modifié de la même quantité, la différence demeurant constante.

Avec des solutions centinormales de $Cu\,Cl^2$ et des électrodes de 200 cm^2 environ enroulées sous forme de cylindres de 25 mm de diamètre, un condensateur d'une capacité de 10 microfarads se chargeait complètement en moins d'une seconde. Dans ces conditions, on pouvait retirer les électrodes du bain galvanoplastique, les rincer à l'eau distillée, les plonger dans le tube en U et mesurer la force électromotrice en deux secondes environ.

Sur la figure 1 on a représenté les variations de la force électromotrice en fonction du temps. Les courbes I, II et III qui représentent les plus grands écarts de six déterminations différentes avec une solution aqueuse centinormale de $Cu\,Cl^2$ dans l'une des branches du tube en U et une solution équimoléculaire d'un mélange à 72,9 pour 100 d'alcool dans l'autre indiquent un accroissement relativement rapide de la force électromotrice suivi d'une diminution graduelle et caractérisent les courbes obtenues pour les mélanges d'un pourcentage élevé en alcool. Les courbes IV et V sont relatives à des conditions qui ne diffèrent des précédentes que par la substitution d'un mélange contenant 50,33 pour 100 d'alcool au mélange à 72,9 pour 100 : ces courbes qui donnent l'allure des résultats obtenus pour des mélanges d'alcool et d'eau à faible pourcentage d'alcool

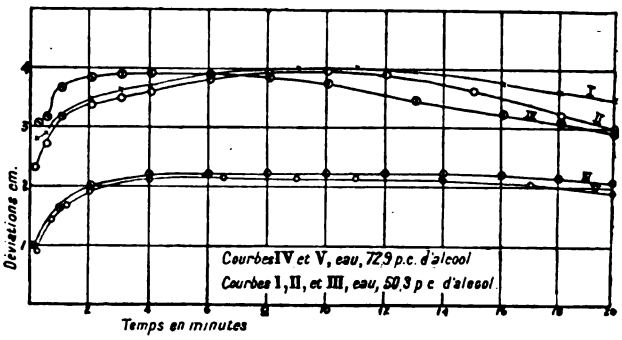


Fig. 1.

indiquent une diminution plus lente de la force électromotrice.

On remarquera dans les deux séries, mais plus particulièrement pour la série obtenue avec le mélange à 72,9 pour 100, que les différentes courbes ne coïncident pas, mais ont pratiquement le même maximum. D'autres concentrations de $Cu\,Cl^2$ ont été essayées ; les courbes obtenues ont des formes différentes, mais le maximum demeure pratiquement. Ce maximum constituant le seul point des courbes qui puisse être reproduit a été pris comme caractérisant la force électromotrice.

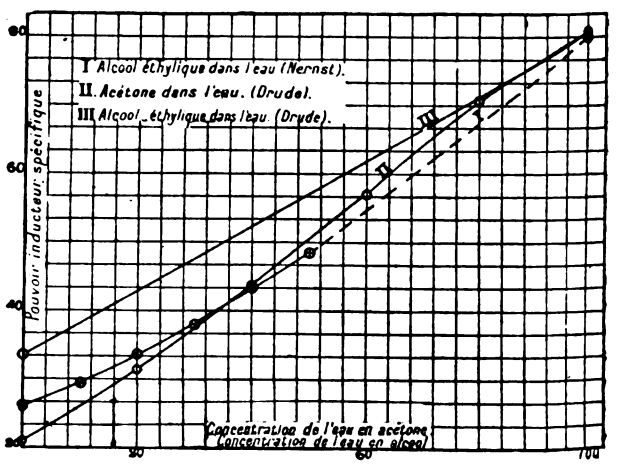


Fig. 2.

Quels que soient les phénomènes qui lui donnent naissance, si l'affinité chimique consiste en une attraction électrique, ces phénomènes doivent dépendre du pouvoir inducteur spécifique de la solution et il semble possible qu'une comparaison des maxima obtenus pour des mélanges de

Digitized by Google

pourcentages variables fasse apparaître une relation entre la différence des pouvoirs inducteurs spécifiques des deux solutions et la force électromotrice de la pile, relation qui ne différerait que quantitativement de celle qu'on pourrait prévoir si aucune électrode ne subissait de modifications après immersion dans l'électrolyte correspondant.

Sur la courbe I de la figure 3 on a représenté ces forces électromotrices maxima obtenues en prenant, dans l'une des branches du tube en U, une solution centinormale de $Cu\,Cl^2$ dans des mélanges d'alcool et d'eau de concentra-

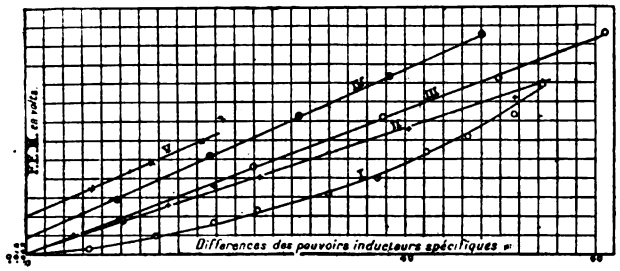


Fig. 3.

Courbe I, eau-alcool éthylique (solutions de $Cu\,Cl^2$, électrodes de Cu, l'électrode dans la solution aqueuse est électronégative). Courbe II, eau-alcool éthylique (électrodes de $Hg^2\,Cl^2$, l'électrode dans l'eau est électropositive). Courbe III, acétone-eau (électrodes de $Hg^2\,Cl^2$, l'électrode dans l'eau est électropositive). Courbe V, eau-solution d'urée (électrodes de Pt, l'électrode dans l'eau est électropositive).

tions différentes et, dans l'autre branche du tube, une solution centinormale de $Cu\,Cl^2$ dans l'eau; les abscisses de la courbe indiquent la différence des pouvoirs inducteurs spécifiques des solutions.

Pour permettre les comparaisons on a représenté sur la figure 2 la variation du pouvoir inducteur spécifique en fonction de la concentration.

A cause des difficultés d'interpréter correctement les résultats représentés sur la courbe I (fig. 3), par suite des modifications continuelles dont est le siège la surface des deux électrodes, l'auteur a repris ces expériences sous une nouvelle forme.

5. Deuxième série d'expériences. — L'auteur a substitué une électrode de calomel à l'électrode en cuivre et remplacé le condensateur et le balistique par un électromètre à quadrants.

Les piles sont constituées de la manière suivante : on scelle un fil de platine au bas d'un tube en U de 15 mm de diamètre et 8 cm de haut. On verse assez de mercure dans deux de ces tubes pour recouvrir les fils de platine. On verse dans l'un des tubes du chlorure mercureux et de l'eau distillée, dans l'autre, du chlorure mercureux et un mélange d'alcool et d'eau. On fait communiquer les deux liquides par un fragment de toile d'amiante et on relie les électrodes aux quadrants de l'électromètre.

La déviation de l'aiguille de l'électromètre, mesurée par la méthode de Poggendorf, permet d'évaluer la force électromotrice à moins de 0,0005 v.

Les électrodes au calomel se comportent d'une manière quelque peu semblable à celle du cuivre. La force électromotrice va d'abord en croissant, sitôt après que la pile a été constituée, mais beaucoup plus lentement que dans le cas des électrodes en cuivre plongées dans les solutions de $Cu\,Cl^2$: le maximum n'est atteint qu'au bout d'un laps de temps allant de trois quarts d'heure à 6 ou 8 heures. Ce maximum, cependant, n'est pas suivi d'une décroissance; il demeure sensiblement constant tant que dure la pile, plusieurs jours dans certains cas.

Les résultats obtenus avec des électrodes de calomel pour des mélanges d'alcool et d'eau ont été représentés sur la courbe II (fig. 3).

Les courbes III et IV (fig. 3) représentent les résultats obtenus dans les mêmes conditions, mais pour des mélanges d'acétone et d'eau, d'alcool méthylique et d'eau.

L'auteur a également étudié le sens de la force électromotrice entre électrodes de calomel pour des mélanges d'alcool éthylique et d'éther, d'alcool éthylique et de chloroforme, d'acétone et d'alcool éthylique. Dans chaque cas, l'électrode plongée dans le liquide ayant le pouvoir inducteur spécifique le plus élevé est électro-positive par rapport à l'autre.

Un autre cas a été envisagé à cause d'une anomalie apparente qu'il semble présenter en ce qui concerne le pouvoir inducteur spécifique. Comme on pouvait le prévoir, quand on dissout un liquide ou un sel dans un liquide ayant un pouvoir inducteur spécifique plus élevé, le pouvoir inducteur de la solution obtenue est généralement compris entre celui des deux constituants. Mais on a découvert plusieurs cas où le pouvoir inducteur de la solution est supérieur à celui de chaque constituant. Dans les solutions d'urée dans l'eau, étudiées par Harrington (1) le pouvoir inducteur *augmente* presque linéairement avec la concentration. On ne peut pas utiliser d'électrodes au calomel à cause de l'action chimique qu'elles exercent sur la solution. Les résultats obtenus avec une électrode de platine ont été représentés sur la courbe V (fig. 3).

6. Discussion des résultats. — A cause de l'incertitude qui peut régner au sujet de l'interprétation complète des résultats représentés sur la courbe I, l'auteur ne s'attache qu'au *sens* de la force électromotrice. D'après la théorie de Nernst, la pression osmotique des ions cuivre doit être plus grande dans les solutions aqueuses que dans les solutions alcooliques à cause de la plus grande dissociation dans l'eau. Comme la tension de dissolution du cuivre est extrêmement faible, 10^{-20} atmosphères, les ions cuivre ont à vaincre contre les électrodes une pression qui est pratiquement nulle. Il s'ensuit qu'il y aura plus d'ions déposés sur l'électrode dans le cas des solutions aqueuses que dans celui des solutions alcooliques, ce qui conduirait à une force électromotrice de sens inverse à celle obtenue réellement. D'après la théorie simple mentionnée au début de ce travail, les deux électrodes de cuivre perdent des ions quand on les plonge dans leurs électrolytes respectifs par suite de la diminution de la cohésion dans les atomes superficiels qui provient du pouvoir inducteur spécifique relativement élevé des liquides. Mais il y a un nombre d'ions perdus plus grand dans la solution aqueuse que dans la solution alcoolique à cause du pouvoir inducteur spécifique plus élevé de la première, et, par suite, l'électrode de la solution aqueuse devient électronégative par rapport à celle de la solution alcoolique.

1° Les courbes II, III et IV obtenues avec des électrodes de calomel qui éliminent les perturbations dues à des modifications continuelles dans la surface de l'électrode semblent indiquer que la force électromotrice des piles utilisées est exactement proportionnelle à la différence des pouvoirs inducteurs spécifiques des deux électrolytes.

(1) *Physical Review*, 1916, 2e série, t. VII, p. 581.

Digitized by Google

Dans le cas des mélanges d'eau et d'alcool méthylique, le pouvoir inducteur spécifique varie linéairement en fonction de la concentration mais, dans les deux autres cas, l'écart à partir d'une droite est suffisant pour permettre de conclure que c'est la différence des pouvoirs inducteurs plutôt que la différence des concentrations qui influe sur la force électromotrice. On pouvait prévoir que les diverses courbes ne coïncident pas : les ions qui quittent l'électrode sont attirés par la solution avec une force qui dépend non seulement du pouvoir inducteur spécifique de la solution, mais aussi de la nature de la molécule attirante. Ce dernier facteur, qui n'est pas le même dans les trois cas, peut être la cause des pentes différentes des trois courbes.

2° Une autre conséquence importante qu'on peut tirer de l'examen des courbes II, III et IV est relative au sens de la force électromotrice. Dans le cas d'électrodes réversibles de la seconde classe, comme l'électrode de calomel, l'ion négatif se comporte comme le véhicule du courant ; autrement dit, l'électrode de calomel donne des résultats ayant le caractère de ceux qu'on pourrait prévoir pour une modification du chlore métalliquement conductrice.

La force électromotrice doit être, quelle que soit la théorie, d'un signe opposé à celui obtenu avec des électrodes de la première classe. Dans le cas qui nous occupe, si il y a une différence appréciable dans la concentration en ions chlore autour des deux électrodes, la concentration doit être la plus forte autour de l'électrode plongée dans l'eau, par suite du fait que le pouvoir ionisant de l'eau est supérieur à celui des mélanges d'eau et d'alcool éthylique, d'acétone ou d'alcool méthylique. Si la tension de dissolution était la même pour les deux électrodes, la pression osmotique des ions, plus grande dans les solutions aqueuses, devrait rendre l'électrode électronégative de ce côté : on trouve qu'elle est électropositive. Le seul moyen d'expliquer les résultats expérimentaux serait d'admettre que, non seulement la tension de dissolution est moindre dans les mélanges d'eau et d'alcool éthylique, d'acétone ou d'alcool méthylique, mais qu'elle est proportionnelle au pouvoir inducteur spécifique du liquide dans lequel est plongée l'électrode : ce serait là une propriété bien extraordinaire de la force expansive des électrodes. Les résultats expérimentaux sont cependant identiques à ceux qu'on pourrait prévoir d'après la théorie que la perte des ions d'une électrode est proportionnelle au pouvoir inducteur spécifique de l'électrolyte.

Les résultats obtenus avec des électrodes de platine plongées dans des solutions d'urée et représentés sur la courbe V indiquent l'existence d'une relation linéaire entre la différence des pouvoirs inducteurs spécifiques des électrolytes et la force électromotrice de la pile. Dans ce cas le facteur tension de dissolution s'évanouit, puisque, d'après la théorie de Nernst, la tension de dissolution d'un métal est la même dans une solution aqueuse que dans l'eau. Ceci signifierait, soit que la concentration en ions autour de l'électrode dans l'eau devrait augmenter à mesure qu'on utilise des concentrations d'urée plus élevées dans l'autre tube ou que la concentration en ions autour de l'électrode dans la solution d'urée devrait diminuer avec la concentration de l'urée. D'un autre côté, si les ions sont perdus plus facilement par l'électrode qui est plongée dans le liquide de pouvoir inducteur spécifique le plus élevé, la relation représentée par la courbe V aussi bien que le sens de la force électromotrice, sont bien ceux qu'on pouvait prévoir.

Les résultats de ce travail, mentionne l'auteur, sont en complet accord avec ceux de Miss Finney qui admettait la théorie ici développée avec l'hypothèse que les métaux les plus électropositifs ont le pouvoir inducteur spécifique le plus élevé. Dans des recherches qui sont en cours d'exécution, M. Sanford a récemment établi la validité de cette dernière hypothèse. Ceci donne du poids à l'interprétation que fournit Miss Finney de ses résultats, à savoir que plus est élevé le pouvoir inducteur spécifique d'une solution et plus est électronégative une électrode d'un métal quelconque plongée dans la solution.

A. B.

Calcul des constantes de la formule du rayonnement de Planck par la méthode des moindres carrés. (1)

La formule en question est, en adoptant les notations « du Recueil de constantes de physique »,

$$\rho_\lambda = C\lambda^{-5}\left(e^{\frac{c}{\lambda\theta}} - 1\right)^{-1};$$

on a fait n mesure de ρ_λ et λ à température constante θ ; il faut en déduire les valeurs de C et c. L'auteur développe sa méthode et applique les formules auxquelles il arrive aux résultats d'expériences réalisées antérieurement par W.-W. Coblentz. Il trouve ainsi que $C = 208\,240 \pm 642$ en unités arbitraires et $c = 14\,342 \pm 8$ microns par degré. Citons encore deux méthodes qui sont d'un usage courant pour la détermination de ces deux constantes ; puis nous comparerons les résultats qu'elles donnent aux nombres indiqués ci-dessus. La méthode « des ordonnées égales » consiste à tracer, à l'œil, la courbe d'énergie spectrale, c'est-à-dire à exprimer ρ_λ en fonction de λ, puis à mener, à la distance ρ_{λ_1}, une parallèle à l'axe des abscisses, parallèle qui coupe la courbe spectrale en deux points d'abcisses λ_1 et λ_2. On a dans ces conditions

$$c = \frac{\theta\lambda_2\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}\left[5\log\frac{\lambda_2}{\lambda_1} - e^{-\frac{c}{\lambda_2\theta}}\right].$$

Par la méthode dite « des deux points », on trouve pour c la formule suivante :

$$c = \frac{\theta\lambda_1\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}\left[\log\frac{\rho_{\lambda_2}}{\rho_{\lambda_1}} + 5\log\frac{\lambda_2}{\lambda_1} - e^{-\frac{c}{\lambda_2\theta}}\right].$$

On calcule un certain nombre de valeurs de c, comme dans le cas ci-dessus, et on en prend la moyenne arithmétique. Pour le dernier terme qui contient encore c, on se sert d'un nombre déjà donné pour cette constante. Avec les données expérimentales qui ont servi à l'application de la méthode des moindres carrés, on a trouvé, par ces deux dernières formules

$$c = 14\,388 \pm 21 \quad \text{et} \quad c = 14\,328 \pm 10.$$

Ces valeurs sont la moyenne des combinaisons de 12 observations prises deux à deux.

(1) Harry M. Reese, *Bulletin of the Bureau of Standards*, 17 juin 1918, n° 2, t. XIV, p. 237-253, 1 fig.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

Poste de 900 kw installé sur les canalisations triphasées, 5 250 v, 50 p:sec. de la Compagnie d'Électricité de Marseille

Parmi les nombreuses installations électriques motivées par la création d'usines de munitions, celle qui fait l'objet de l'article ci-dessous est intéressante en ce sens qu'elle a été faite entièrement avec du matériel neuf et dans un délai très court. Rompant, en effet, avec les errements de l'époque qui tendaient à la réalisation d'installations de fortune avec du matériel d'occasion, M. Racapé a résolu le problème d'une façon rationnelle, ce qui n'a pas demandé, en somme, un délai beaucoup plus considérable, mais ce qui a, incontestablement, procuré une plus grande sécurité d'exploitation.

Le problème qui nous avait été posé était celui de l'alimentation en énergie électrique d'une usine fondée à Marseille par la Société pour la Fabrication des Munitions d'Artillerie. Il fallait faire vite et prévoir la possibilité de marcher dès qu'une partie seulement du poste serait montée, de sorte qu'on devait tenir compte de la nécessité d'en terminer la plus grande partie après qu'il aurait été mis partiellement sous tension.

Nous allons examiner successivement :

A) Le choix du courant ;
B) Les idées directrices de la disposition du poste ;
C) Le plan général du poste ;
D) Le détail de l'installation.

A) **Choix du courant.** — L'utilisation comportait cinq moteurs principaux de 100 ch à l'arbre, commandés par contacteurs automatiques. On ne pouvait donc pratiquement songer à envisager des moteurs à haute tension, d'autant plus que la puissance des autres moteurs de l'atelier, variant de 2 à 25 ch, ne comportait pas davantage cette solution.

Le courant étant fourni sous forme de courants triphasés 5 250 v, 50 périodes, il fallait donc installer un poste de transformateurs rabaissant la tension de 5 250 v à 220 v.

B) **Idées directrices de la disposition du poste.** — La puissance prévue était de six à sept cents kilowatts, et le programme indiqué prévoyait l'utilisation constante de jour et de nuit, sans réduction possible, en cas d'avarie à l'un des organes de la distribution.

Dans ces conditions, il était indiqué de répartir la puissance entre deux transformateurs de 300 kw, soit 375 kv-a, avec installation d'un troisième, de même puissance, à titre de rechange ; l'obligation de marcher sans arrêt en cas d'avarie à l'un d'eux imposant de traiter ce troisième de la même manière que les deux autres. Le problème posé était donc celui d'un poste pour 3 transformateurs de 300 kw (375 kv-a).

Or, l'espace réservé dans l'atelier pour le poste se composait d'une surface de 10 m sur 5,50 m environ, abordable seulement par l'un des grands côtés, le fond étant formé par le mur même des bâtiments, et les faces latérales sans issues. Cet espace suffisait juste à contenir les transformateurs et les fils d'arrivée haute tension. Il fallait, en conséquence, de toute nécessité se résoudre à un dispositif à étage (fig. 2 A, B, C).

Il est en effet indispensable, même chez un consommateur, de laisser le plus d'espace possible autour des fils et appareils haute tension et de disposer tous ces derniers de manière à ce qu'ils puissent être surveillés en marche sans aucun risque pour l'homme chargé de ce service. Nous n'insisterons pas sur les raisons évidentes de sécurité ; nous désirerions seulement appeler l'attention sur un autre motif qui est du plus grand intérêt pour les industriels.

En dehors du monde spécial des électriciens, on ne sait pas assez quel service peuvent rendre les voltmètres et wattmètres enregistreurs placés en tête même d'une source de courant d'alimentation d'ateliers. Tout chef d'usine a deux soucis : limiter au minimum les accidents qui peuvent entraver ou interrompre son travail et se mettre rapidement au courant des anomalies de marche qui peuvent affecter journellement son usine.

Or la première condition d'une bonne marche d'une installation électrique est la constance de la tension, et tout particulièrement, en alternatif, nombre d'incidents pouvant survenir, dont l'origine remonte à des variations intempestives de tension.

Par le tracé continu au moyen duquel la plume du voltmètre écrit en quelque sorte à chaque instant la valeur de cette tension sur la feuille du diagramme, l'électricien saura de suite si, au moment de tel ou tel incident, la tension avait ou non sa valeur normale. Il pourra ainsi s'éviter, le cas échéant, de perdre un temps précieux à chercher sur de fausses pistes l'origine des troubles qui auraient pu affecter ses moteurs.

Le wattmètre intéresse plus directement l'industriel.

Digitized by Google

Quiconque a tant soit peu pratiqué les diagrammes de ces appareils sait que tout incident qui n'est pas d'une importance négligeable laisse une trace visible sur la feuille d'enregistrement. De plus, en fixant à chaque instant, sur le papier, la trace de la puissance consommée par l'atelier, il représente en même temps la somme des efforts fournis par le personnel, de telle sorte qu'en suivant à la fin de la journée les ondulations de la courbe résultante, on lit du même coup d'œil les fluctuations du travail fourni par la main d'œuvre. Qu'un laisser aller se produise à de certaines périodes, la comparaison des courbes du jour avec celles de la veille révèlera immédiatement cette tendance et permettra de l'enrayer avant qu'elle n'ait produit d'effets pernicieux.

Le wattmètre n'est pas seulement un intégrateur d'énergie consommée, c'est aussi un témoin de la bonne ou de la mauvaise qualité de l'emploi qui a été fait de cette énergie ; son intérêt résidant surtout en ceci qu'il élimine automatiquement les incidents secondaires, et met immédiatement en évidence la résultante sur l'ensemble de la marche de l'usine des troubles locaux qui menaceraient de la ralentir.

Un homme averti en vaut deux ; l'industriel se trouve ainsi prévenu d'avance et peut s'armer pour conjurer les fléchissements avant qu'ils n'aient entraîné des conséquences désastreuses.

Pour remplir utilement leur rôle, ces appareils doivent évidemment être placés en tête de la distribution d'énergie et pouvoir être surveillés pour donner toute garantie de bon fonctionnement. Or, dans une installation haute tension, les organes principaux du jeu de leur mécanisme sont les transformateurs, tant de potentiel que d'intensité, connectés sur les conducteurs à haute tension. Il importe donc que, contrairement à la quasi-tradition établie, ils soient placés de manière qu'on puisse les examiner commodément et sans danger, tandis qu'en général on les place dans des coins inaccessibles.

On invoque la nécessité d'éviter à l'électricien de service la tentation de les toucher. Or, d'une part, il convient de monter ces appareils absolument comme les transformateurs d'énergie avec leur masse mise à la terre ; ils n'offrent donc ni plus ni moins de danger que ces derniers. D'autre part, il est absolument inutile de les toucher pour les surveiller efficacement, les seuls incidents qui peuvent les menacer, claquage d'isolant entre primaire et secondaire, ou surchauffe par surintensité ou altération de l'isolant, se révélant, on peut dire toujours d'avance, soit par le grésillement ou l'odeur d'ozone bien connue des effluves, soit par l'odeur également caractéristique des isolants chauds. Il en est de même du desserrement des vis dont une inspection à distance suffit tout au moins pour éveiller l'attention. On peut dire que quatre-vingt-dix cas sur cent se trahissent de cette manière. Il vaut donc la peine de se mettre à même de les constater. Il en est des transformateurs qui commandent les relais des disjoncteurs, comme de ceux des appareils de mesure ; il y aura intérêt capital à les surveiller.

C) **Plan général du poste.** — Le premier plan qui se présentait à l'esprit était donc celui-ci : au rez-de-chaussée, les transformateurs d'énergie 375 kv-a et leurs disjoncteurs à haute tension, au-dessus, en étage, deux grands compartiments séparés par une cloison longitudinale. Dans la chambre arrière, au-dessus des disjoncteurs des transformateurs de 375 kv-a dont nous venons de parler, leurs sectionneurs et leurs transformateurs d'intensité, ainsi que les transformateurs d'appareils de mesure ; dans l'espace antérieur, tout le tableau basse tension avec barres générales et toutes les connexions d'arrière en cabine fermée et façade constituée par le panneau de marbre du tableau proprement dit.

Ce dispositif a l'avantage, pour la haute tension, de placer dans des locaux séparés et superposés, d'une part les disjoncteurs, de l'autre les sectionneurs qui les commandent, les uns étant au rez-de-chaussée, les autres au premier étage. On s'est arrangé d'ailleurs pour que les sectionneurs fussent visibles des disjoncteurs. De cette manière, une fois les sectionneurs coupés, on n'a plus aucun point placé en amont du disjoncteur et soumis encore à la haute tension qui soit à portée de main ou d'outil de l'homme qui, en cas d'accident ou de vérification éventuelle, serait appelé à travailler au disjoncteur.

On réalise ainsi ce qu'on pourrait appeler le dispositif de la chaise, le tableau basse tension est en quelque sorte assis sur le poste des transformateurs, le dossier du siège étant formé par le cloisonnement derrière lequel les prises haute tension de leurs disjoncteurs respectifs viennent s'amorcer sur les conducteurs généraux à haute tension, prolongeant eux-mêmes les fils d'amenée du courant qui montent à cet effet du rez-de-chaussée où se trouve la prise sur le secteur, jusqu'au premier étage.

L'élévation générale (fig. 1) et la coupe (fig. 2) montrent immédiatement le schéma de cette réalisation. Celle-ci permet, et c'est un gros avantage, de conserver dans un même plan vertical, plan par exemple de la coupe (fig. 2) perpendiculaire à l'axe longitudinal du poste, tant les canalisations à haute tension que les canalisations à basse tension d'un même transformateur. Le poste est en quelque sorte décomposé en tranches que l'on peut dire absolument indépendantes les unes des autres.

Pour délimiter ces tranches, on a séparé les fils et et appareils haute tension par des cloisons en fibro-ciment montant d'une seule venue du sol du rez-de-chaussée au plafond du premier étage et les transformateurs par des cloisons en briques.

Il n'existe donc aucun croisement de fils et la première tranche une fois installée, on peut la mettre en service sans compromettre la sécurité des travailleurs s'occupant de l'achèvement des autres. Il suffit donc d'en décrire une pour les décrire toutes et cela nous amène à la description de détail.

D) **Description de détail.** — I. — **Haute tension.** — *a*) Arrivée du courant du secteur. — Pour pro-

Digitized by Google

céder avec ordre, nous commencerons par l'arrivée de courant du secteur.

Par suite d'une disposition spéciale du terrain de l'usine, le sol de l'atelier placé en bordure d'un chemin se trouvait surplomber la chaussée de cette voie de trois à quatre mètres. Le secteur qui désire que chez tout client le poste d'arrivée contenant ses appareils de sectionnement et de disjonction, ainsi que les réducteurs de tension et d'intensité des compteurs, soient dans un local absolument indépendant des ateliers et accessible seulement de l'extérieur, nous avait demandé de construire à la base du poste une cave dans laquelle le sol serait de niveau avec celui de ce chemin dont il vient d'être parlé.

C'est un dispositif aussi commode pour le secteur que pour le client, surtout quand ce dernier consent à installer en série avec le disjoncteur du secteur et en aval, c'est-à-dire de son propre côté, un deuxième disjoncteur dont il a l'entière disposition. Cela lui permet d'être absolument maître de son installation, en ce sens que s'il a convenablement réglé le déclenchement automatique de son appareil, celui-ci fonctionne seul en cas de surintensité; avec une bonne mise au point, même un court-circuit sur les canalisations secondaires ne rebondit pas jusqu'au disjoncteur du secteur. La cause de trouble écartée, l'abonné peut donc immédiatement remettre ses lignes sous tension sans être obligé de recourir aux agents de son fournisseur de courant, comme il le devrait faire si la rupture des organes de sécurité s'était produite dans le poste.

La durée de ses interruptions de courant se trouve donc ainsi réduite au minimum.

Les fils d'amenée du courant à haute tension du secteur jaillissent donc directement d'un regard ménagé dans le sol même du rez-de-chaussée du poste du client formant plafond de la cabine du secteur (fig. 1). Ils montent ensuite verticalement dans une large cellule jusqu'aux sectionneurs généraux d'une capacité de 200 A, placés directement en face de la porte d'entrée. De chaque côté, dans cette même cellule, sont disposés des sectionneurs auxiliaires, permettant de faire, avec toutes coudées franches et sans troubler en rien la marche des ateliers, toutes mesures à haute tension désirables.

Comme on le voit sur ce même plan, les canalisations s'élèvent ensuite au premier étage où elles traversent d'abord les transformateurs d'intensité du disjoncteur principal placés l'un au-dessus de l'autre, bien en évidence, les bornes basse tension faisant seules saillies, puis ce disjoncteur lui-même.

Ce disjoncteur est à minimum et pour éviter que le courant de lumière ne soit supprimé, même quand toute la force est coupée, ce minimum est commandé par le transformateur de mesure du voltmètre enregistreur dont il sera parlé plus loin et dont l'alimentation est prise dans le poste même du secteur, de telle sorte qu'il reste en service même quand les sectionneurs tête de ligne d'énergie sont coupés. On voit sur le plan 1 les deux fils 5 250 v de ce réducteur de tension descendre à la cave du secteur à gauche des fils généraux et parallèlement à eux.

Ce disjoncteur tête de ligne est placé juste en face de la porte d'accès, qui commande le compartiment haute tension du premier étage, de telle manière qu'on l'aperçoit tout d'abord face à soi dès qu'on pénètre dans ce compartiment. Outre une poignée de manœuvre directe, il est muni d'une courte commande à distance, placée à l'extérieur, tout contre la dite porte, bien à part des divers organes du panneau à basse tension et au débouché même de l'escalier d'accès, de telle sorte que son levier de mise en ou hors service est le premier objet qui frappe les yeux de l'électricien débouchant de l'escalier.

Tout est donc prévu pour qu'en cas d'affolement, qu'on se précipite au rez-de-chaussée ou au premier étage, on ait immédiatement à portée de la main les organes de coupure générale et ceux-là seuls.

Le plan I montre que ce compartiment à haute tension du premier étage est divisé en cellules par une série de cloisons identiques dressées contre le mur de fond de la salle des transformateurs de 375 kv-A au rez-de-chaussée.

A la sortie du disjoncteur principal occupant au premier étage l'alvéole de gauche, les fils généraux à haute tension traversant la première cloison se connectent aux trois transformateurs d'intensité du contrôle de l'énergie totale consommée dans l'usine et dont les secondaires tournés du côté du passage alimentent le wattmètre enregistreur et les ampèremètres à lecture directe placés sur le panneau de marbre réservé à la haute tension.

A la suite de ces réducteurs d'intensité 100/10 A, les fils remontent au ras du plafond pour courir horizontalement au-dessus des diverses cellules tout au long du poste.

La deuxième qu'ils franchissent ainsi est consacrée aux transformateurs de potentiel du wattmètre enregistreur et du voltmètre lumineux général de l'usine 5 250/110 v. Trois fils nus de 60/10 les relient aux canalisations par l'intermédiaire de fusibles à cartouche, disposés dans l'intérieur de poignées en porcelaine et parfaitement amovibles.

Les autres cellules sont celles des descentes aux transformateurs de 375 kv-A disposées juste dans l'axe des transformateurs correspondants au moins pour deux d'entre elles.

b) Alimentation haute tension des transformateurs force. — Dans chacune de ces cellules, les fils de prise, en nu de 80/10, descendent d'abord aux sectionneurs, passent dans les transformateurs d'intensité des disjoncteurs disposés symétriquement, de l'un et l'autre côté de la case, et rejetés contre la cloison de fibro-ciment descendent verticalement au-rez-de-chaussée se connecter aux bornes du disjoncteur du transformateur de 375 kv-A.

De là ils remontent parallèlement, le long de l'autre face de la cellule et dans le plan même de la ligne des

Digitized by Google

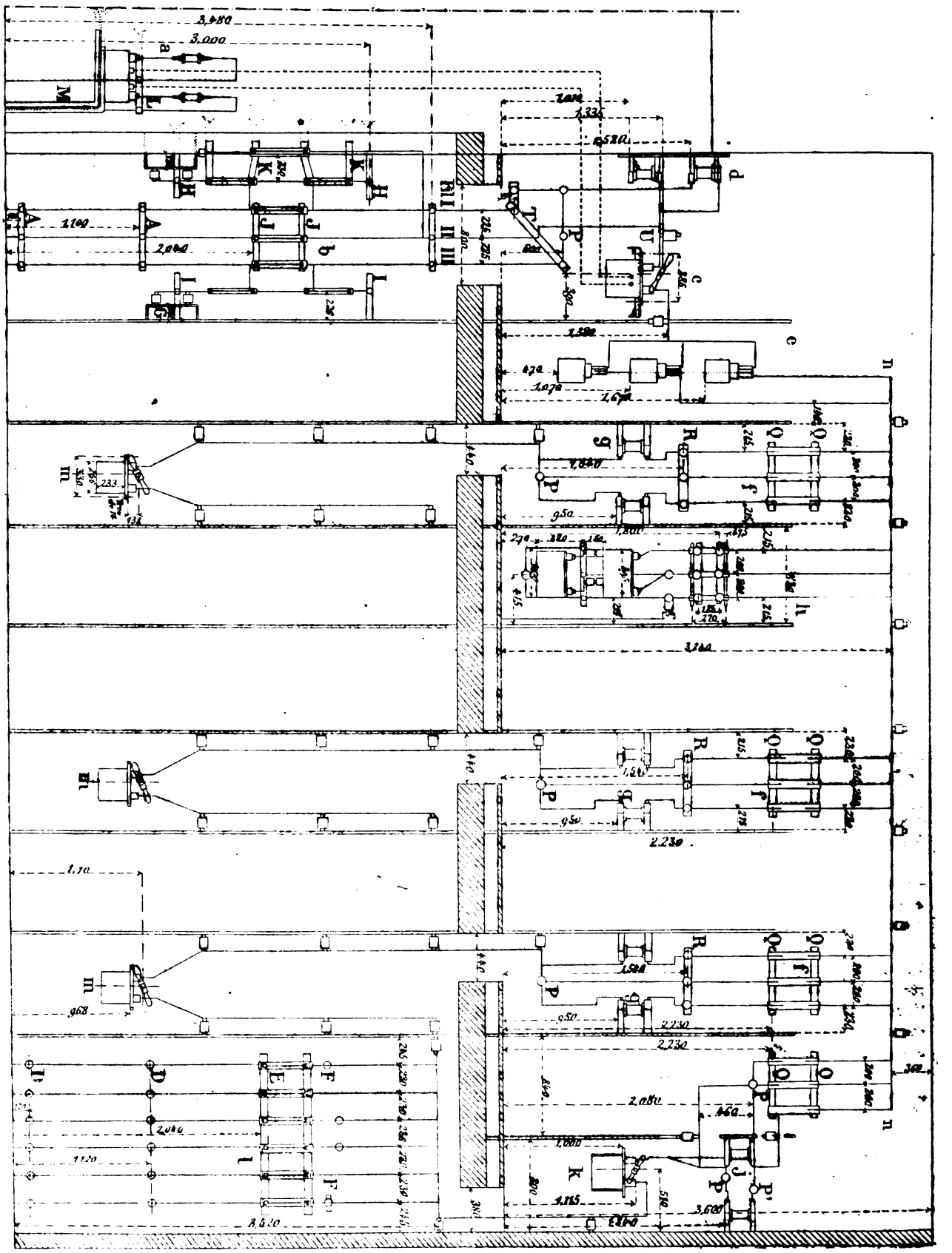


Fig. 1. — Elévation générale des connexions haute tension, rez-de-chaussée et 1er étage (pour la légende détaillée voir page 768).

Digitized by Google

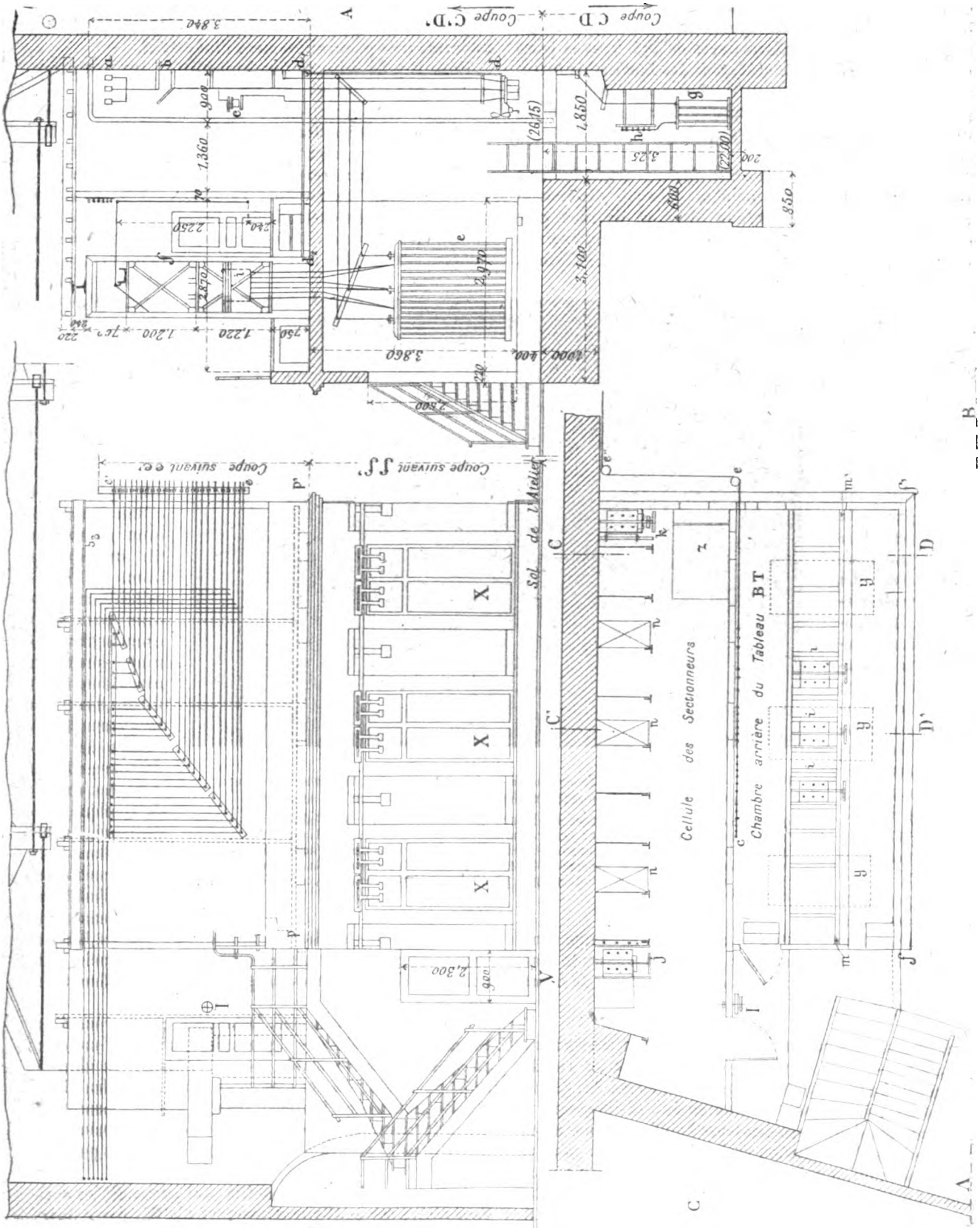


Fig. 2. — Installation du poste électrique (pour la légende détaillée voir page 768).

Digitized by Google

bornes haute tension du transformateur, à hauteur suffisante pour venir tomber, après avoir franchi le passage réservé entre les transformateurs de 375 kv-A et leurs disjoncteurs, juste droit au-dessus des bornes haute tension du transformateur qu'ils doivent alimenter. On peut, de cette manière, circuler librement sous les conducteurs en charge, qui sont à plus de 2,50 m du sol.

Les trois disjoncteurs des transformateurs de 375 kv-A sont installés de la même manière. Chaque disjoncteur a sa poignée de manœuvre sur place, et, de plus, peut être commandé par des leviers de renvoi, directement du tableau basse tension dont nous parlerons tout à l'heure.

Ils sont à deux maxima et un minimum; les minima sont pris directement sur les barres par l'intermédiaire de deux fils communs de telle sorte que, dès que la basse tension est supprimée, la haute tension se coupe automatiquement. La plus grande partie de la puissance étant employée à actionner les pompes d'un accumulateur d'eau à haute pression, il a suffi d'intercaler sur l'un des fils commun des mimima, un rupteur automatiquement commandé par l'accumulateur lui-même pour obtenir toute garantie contre le danger d'envoyer la cloche à fin de course, et même contre le fonctionnement, toujours délicat, de la soupape de sûreté hydraulique.

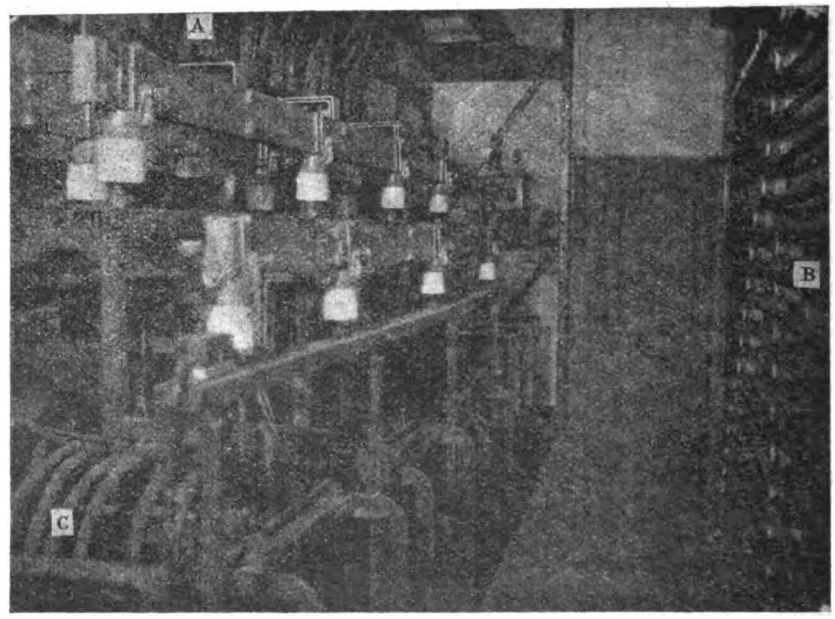


Fig. 3. — Vue de la cabine basse tension du poste au premier étage. Barres générales 220 volts et départ des câbles vers les ateliers.

A, câbles partant des disjoncteurs de départ et montant s'étaler au plafond ; B, câbles de départ descendus du plafond et partant directement aux ateliers en s'étalant sur toute la surface de la cloison (derrière laquelle est la cabine haute tension des sectionneurs et transformateurs réducteurs) ; C, câbles venant des bornes basse tension du transformateur d'énergie placé au rez de chaussée, directement en dessous.

c) ALIMENTATION HAUTE TENSION DES TRANSFORMATEURS LUMIÈRE. — Les dernières cellules, tant au rez-de-chaussée qu'au premier étage, c'est-à-dire les plus à droite de la figure, sont réservées aux disjoncteurs et sectionneurs des transformateurs lumière. Nous avons tenu à ce que l'installation de lumière, tant au point de vue tension qu'au point de vue canalisations, soit absolument distincte de l'installation force. On évite ainsi au personnel de l'usine de succomber à la tentation d'utiliser les conducteurs et le petit matériel lumière sur le réseau force et réciproquement. Il y a là une question d'ordre et d'emploi économique de l'appareillage qui intéresse tout particulièrement l'industriel.

Pour être de constatation immédiate, ces avantages ne sont pas les seuls :

La prétendue commodité qu'offre la possibilité de brancher occasionnellement un moteur sur les fils d'éclairage est extrêmement onéreuse pour l'exploitant; les chefs d'atelier s'en rendent bien généralement compte, mais s'excusent d'y recourir en indiquant le caractère provisoire du branchement ainsi installé. Or, d'une part, on sait fort bien que, dans un atelier, c'est le provisoire qui possède le plus fort caractère pratique de permanence ; d'autre part, la plus simple application élémentaire des lois d'Ohm et Joule montre que l'on a vite perdu en chaleur Joule dans le cuivre la somme qu'aurait coûtée les quelques mètres de fils supplémentaires qu'il aurait fallu se procurer pour aller chercher le courant jusqu'aux canalisations force. Avec les longueurs habituelles de conducteur utilisées dans les usines de quelque importance, nous ne parlons pas ici des petits ateliers, l'addition d'un moteur de 10 ch sur une canalisation lumière chargée à 1,5 A par mm² suffit pour faire perdre à l'industriel, au prix normal du kilowatt-heure énergie de 1 200 à 1 500 fr de courant par année.

A un autre point de vue, la lumière obtenue avec du courant emprunté à des lignes alimentant des moteurs est passablement instable ; toute variation de charge, arrêt ou remise en marche d'un moteur, influe d'une manière notable sur l'intensité lumineuse du filament, au point de distraire parfois l'ouvrier de son travail, et d'être ainsi l'occasion d'une perte de temps préjudiciable.

Autre inconvénient et celui-là plus grave. Si un accident arrive sur une ligne alimentant à la fois des moteurs et des lampes, on se trouve non seulement troublé par

Digitized by Google

l'arrêt du moteur, mais, en plus, on manque de lumière au moment où on en aurait le plus besoin. Si c'est au poste central que s'est produit l'accident, c'est l'usine tout entière qui va se trouver arrêtée.

Pour ces divers motifs qui découlent très clairement d'une étude plus approfondie, nous préconisons toujours, pour un industriel s'entend, qui constitue un gros centre de consommation, la séparation complète de la lumière et de la force. Pour de très petits ateliers, les conclusions peuvent se trouver renversées.

Toute la partie droite du poste a donc été réservée à la lumière. Connectés à l'extrémité des trois fils 100/10 de la canalisation générale, les conducteurs 60/10 haute tension d'éclairage, descendent aux sectionneurs 100 A placés dans l'avant-dernière cellule, et de là vont au disjoncteur unique de la lumière, à maximum seulement, installé dans la dernière cabine, après avoir traversé ses transformateurs d'intensité placés symétriquement au-dessus de lui.

A la suite des bornes de sortie, ils traversent le plan-

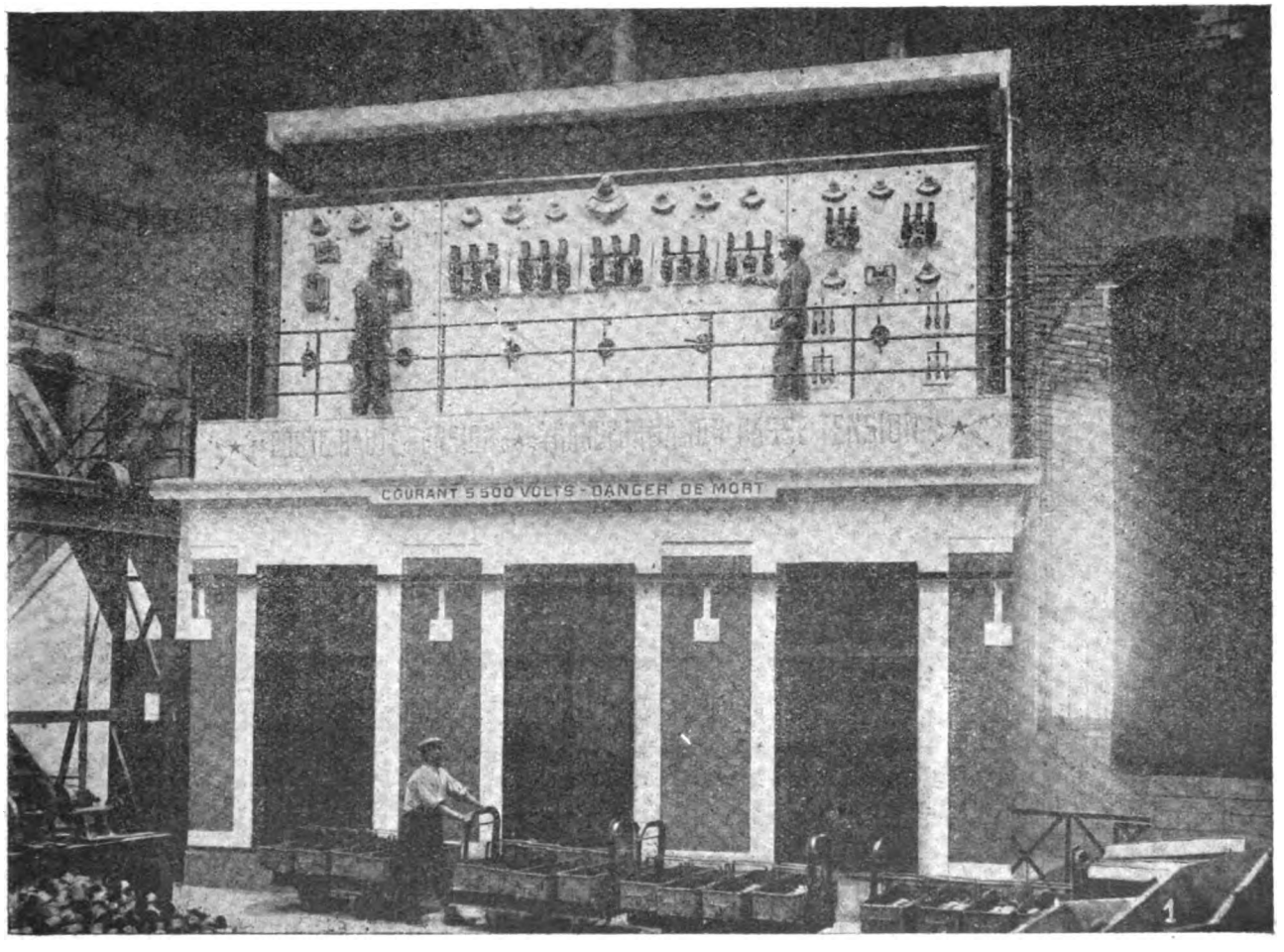


Fig. 4.

cher sous la face inférieure duquel on les a prolongés suivant trois lignes parallèles.

L'éclairage demandant un peu plus de 25 kv-A, on a prévu deux transformateurs de 30 kv-A, soit 175 A par unité et par fil triangle. Utilisant le prolongement de la cave dont le secteur occupe une partie de l'espace, comme il est indiqué plus haut, nous y avons placé ces deux transformateurs l'un à côté de l'autre, contre le soubassement du mur de fond du poste, et tout au droit de l'ouverture d'une trappe, qui, par le moyen d'un mouffle dont le crochet est fixé à demeure directement au-dessus et dans la charpente même du poste, permet de les remonter et sortir en quelques minutes. On voit très bien la position de ces transformateurs lumière sur la coupe figure 2 A.

Ils se trouvent ainsi exactement en dessous des trois lignes parallèles formées par les fils à haute tension sortant du disjoncteur lumière dont nous venons de parler, et auxquelles ils sont reliés par six fils verticaux 60/10, épanouis contre le mur et commandés chacun par un sectionneur. On a ainsi deux jeux de trois sectionneurs à l'aide desquels on peut, à volonté, mettre en service l'un ou l'autre ou les deux appareils en même temps. Ces transformateurs sont triphasés 5250/125 v à vide garan-

Digitized by Google

tissant en charge 115 v en bout de la ligne qui est très longue.

La trappe, dont nous avons parlé ci-dessus, sert également de large trou d'homme pour la descente à la cave; à cet effet, elle a été munie d'une échelle avec jeu de balustrades amovibles garantissant l'électricien à la fois contre une chute dangereuse et contre les contacts accidentels avec la haute tension.

Les canalisations basse tension des transformateurs de 30 kv-a sont d'ailleurs disposées de telle sorte qu'elles encadrent la descente et qu'elles protègent contre tout mouvement irréfléchi qui exposerait au contact des fils haute tension la personne utilisant l'échelle. Ces câbles basse tension, isolés à 600 mégohms et de 74 mm² de section, montent ensuite d'une seule jetée à plat contre le mur latéral jusqu'au panneau de distribution.

Nous ajouterons que les transformateurs force sont séparés par des cloisons en briques, laissant une largeur de circulation de 80 cm tout autour de chacun d'eux. La face avant du poste est formée de portes à glissières s'ouvrant directement devant chaque transformateur; comme ils ont été prévus à roulettes, et placés sur bétonnage, exhaussé de la hauteur normale d'un truc, il suffit d'amener ce truc en face de la porte et de pousser la machine sur sa plate-forme qui est de niveau pour sortir en quelques instants, sans appareil de levage, l'un quelconque de ces transformateurs de 375 kv-a qui pèsent respectivement environ, huile comprise, 4 000 kg.

De leur côté, les disjoncteurs sont munis de roulettes, et calés par de simples équerres sur des U de roulement, ce qui facilite leur manipulation rapide hors des cellules.

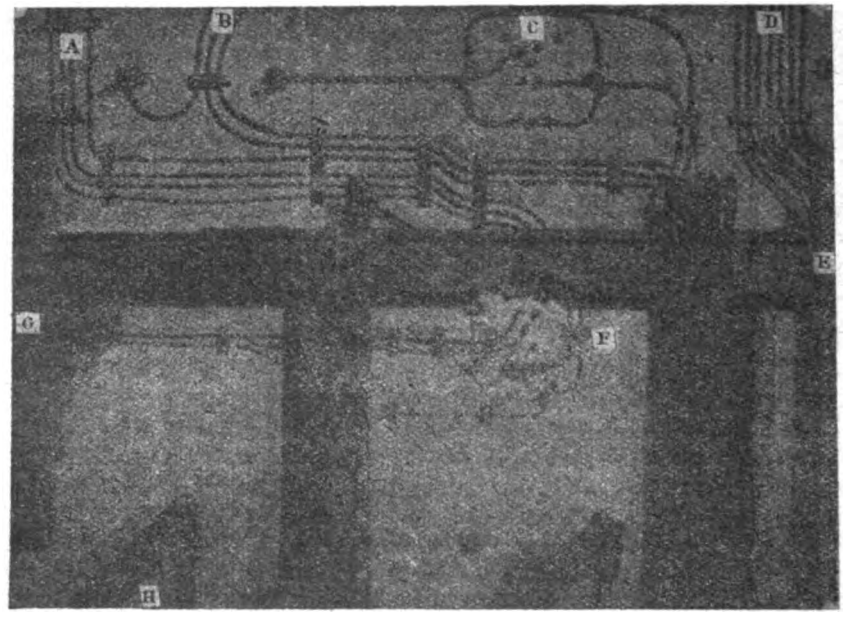


Fig. 5. — Vue photographique de l'arrière du panneau de contrôle de la haute tension correspondant au rectangle X Y Z de la figure 6.

A, vers les bornes potentiel du wattmètre; B, vers l'ampèremètre du courant haute tension et la borne intensité du wattmètre, phase I; C, commutateur d'ampèremètre pour mesures sur les 3 phases; D, vers le compteur secteur; E, charpente; F, commutateur du voltmètre lumineux (sur 3 phases); G, transformateur d'intensité totalisateur du courant basse tension; H, levier du contre-poids de la commande automatique des disjoncteurs haute tension.

II. — **Tableau basse tension proprement dit des appareils de manœuvre et de mesure.** — Le tableau proprement dit est constitué par un large panneau de marbre de 40 mm d'épaisseur et de 7,20 m de largeur sur 2,470 m de hauteur, séparant les deux parties constitutives, savoir : à l'arrière les barres générales 220 v (fig. 3) et les connexions; à l'avant les appareils de manœuvre et de mesures. Il est composé de trois parties bien distinctes, formant trois tableaux juxtaposés, n'ayant entre eux d'autre lien électrique que ceux résultant de leur liaison par l'intermédiaire des divers transformateurs avec les fils généraux haute tension. Il en résulte une très grande clarté dans les canalisations. Ces trois panneaux sont :

a) Panneau de contrôle de l'énergie totale consommée;
b) Panneau des disjoncteurs de départ;
c) Panneau lumière.

L'ensemble des 3 panneaux dont la description suit et dont l'ensemble constitue le tableau est représenté sur la figure 4.

a) *Panneau de contrôle de l'énergie totale consommée.* — Le premier panneau, constitué par trois planches de marbre bien jointes ensemble, forme une table verticale de 1,800 m sur 2,470 m et est réservé au contrôle de la haute tension.

Sur une première ligne horizontale sont disposées les trois poignées de commande à distance des disjoncteurs haute tension des transformateurs de 375 kv-a. Au-dessus, le commutateur du voltmètre lumineux général, permettant de placer ce voltmètre sur l'une ou l'autre phase des transformateurs de tension du wattmètre enregistreur. Au dessus sont alignés : 1° le voltmètre enregistreur branché directement sur le transformateur spécial 5250/110 v dont la prise haute tension est faite dans le poste même du secteur; 2° l'interrupteur à combinaison permettant de mettre à volonté, sur la deuxième ou la première phase, l'ampèremètre du courant haute tension, en court-circuitant les transformateurs d'intensité correspondant; 3° enfin le wattmètre enregistreur. Ce dernier, du type déséquilibré, a ses circuits d'intensité en série chacun avec un ampèremètre, et les connexions sont disposées de telle sorte qu'on peut utiliser

Digitized by Google

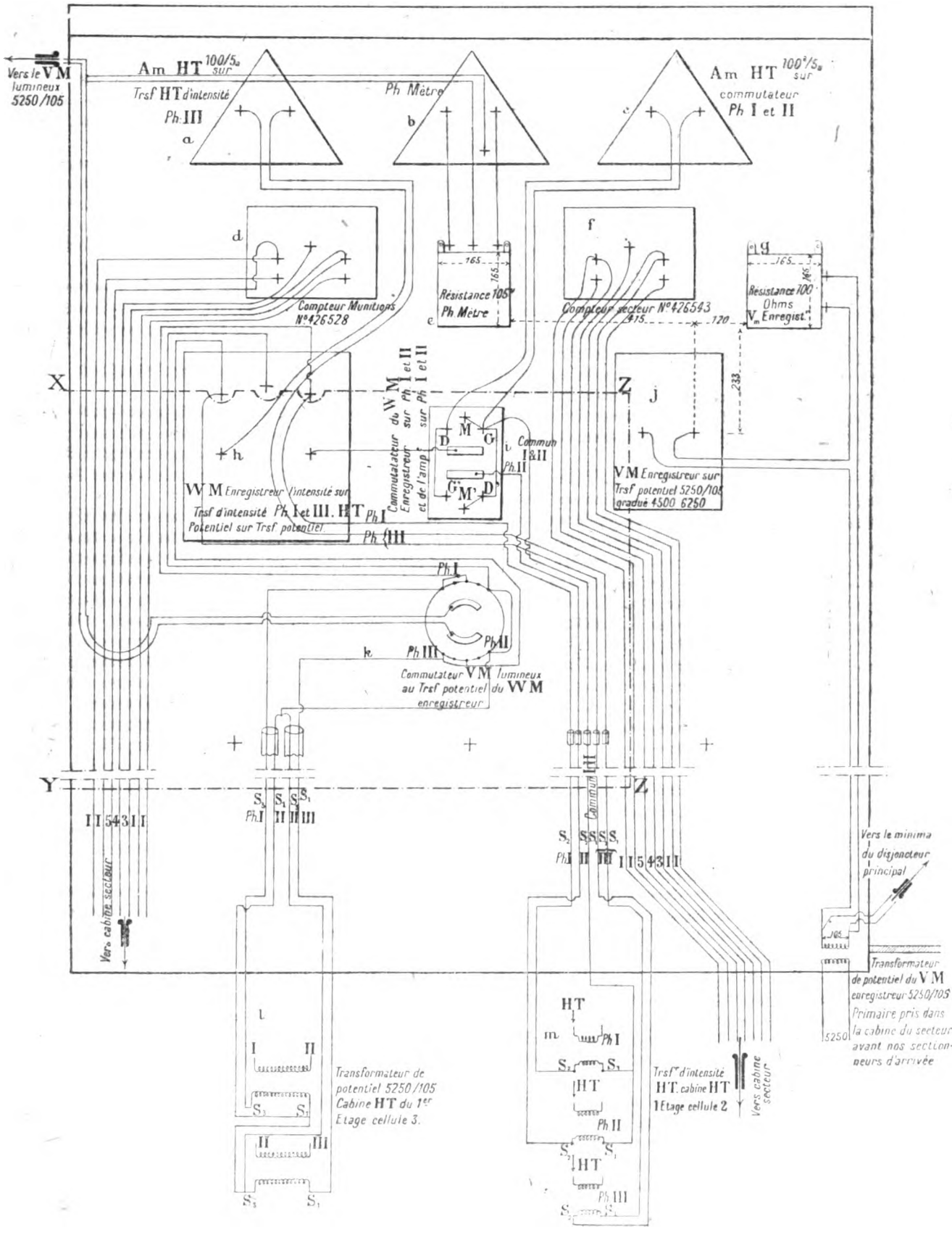


Fig. 6. — Vue par derrière du panneau des appareils de contrôle des caractéristiques haute tension de l'énergie totale *(tous appareils montés sur transformateurs réducteurs).*

Digitized by Google

l'un de ces ampèremètres sur la deuxième phase, en court-circuitant en même temps le wattmètre sur le transformateur hors circuit, et, par conséquent; sans apporter de trouble à son fonctionnement. Sur la ligne supérieure sont deux compteurs, l'un installé aux frais du secteur, l'autre aux frais du client, appareils également plombés et se contrôlant mutuellement; chacun ayant ses transformateurs spéciaux et distincts placés dans la cabine du secteur.

Au-dessus, en dernière ligne, sont disposés les deux ampèremètres du courant haute tension, encadrant le fréquencemètre.

On peut ainsi avec ce panneau connaître à tout instant toutes les données intéressant la marche de l'usine; tension et intensité sur l'une ou l'autre des phases haute tension, puissance à la sortie du disjoncteur général, fréquence et, par un calcul rapide, facteur de puissance.

Pour permettre de surveiller les contacts, le derrière du panneau est absolument libre, et ne contient que les fils arrivant des secondaires des transformateurs plaqués sur le marbre.

Comme le montre la photographie (fig. 5). de l'arrière de ce panneau, on a pu réaliser les connexions presque sans croisement de fils, de telle sorte que le montage a pu garder la netteté du dessin sur le papier (fig. 6).

Les balanciers que l'on voit sont les leviers d'équilibre des commandes à distance, toutes faites en tube et qui, grâce à ce dispositif, reviennent automatiquement à leur place par le jeu automatique du disjoncteur.

Un faux plancher avait d'ailleurs été ménagé pour permettre leur passage ainsi que celui des fils basse tension allant des réducteurs de mesure aux appareils du tableau. Transformateurs et appareils étant sensiblement les uns derrière les autres, on peut suivre les phases sans danger et sans confusion.

b) *Panneau de répartition du courant 220 v.* — A côté de ce panneau contrôlant la haute tension se trouve le panneau de manœuvre proprement dit, large table de marbre de 3,600 m sur 2,470 m formée de quatre planches 900 mm × 2 470 mm juxtaposées.

Là encore les appareils sont par lignes :

Première ligne : les leviers de manœuvre des interrupteurs de couplage de la basse tension des transformateurs de 375 kv-A sur les barres (1 000 A).

Deuxième ligne : prise de tension permettant avec un seul voltmètre et une fiche de connaître la tension entre bornes secondaires quelconques des transformateurs d'énergie avant de les coupler.

Troisième ligne : les disjoncteurs 750 A et 350 A à maximum et minimum de départ des canalisations vers les moteurs.

Quatrième ligne : les appareils de mesure. De gauche à droite, les ampèremètres respectifs des transformateurs force, donnant l'intensité sur un fil secondaire, le voltmètre lumineux, les deux ampèremètres totalisateurs du courant des barres, le voltmètre de t est des transformateurs.

A l'arrière du tableau, au-dessus des interrupteurs à huile basse tension des transformateurs, se trouve le jeu de barres. Il y a cinq barres parallèles, deux pour chacune des phases extrêmes, une pour la phase médiane. Les deux barres des phases extrêmes n'en constituent en fait qu'une seule, repliée sur elle-même avec un transformateur totalisateur d'intensité comme charnière.

Les bornes des interrupteurs à huile 1 000 A des transformateurs 375 kv-A sont reliées à la section inférieure de la barre par trois planches 60/5 formant cales entre les planches constitutives de la barre. Chacune de celles-ci est, en effet, constituée par quatre planches 10,05 mm donnant 2 000 mm² de section pour 2 500 A, à 3 000 A environ de régime prévu. Les prises pour aller aux disjoncteurs de départ, soit 3 de 750 mm² et 2 de 350 mm² sont faites sur la section supérieure des barres extrêmes.

La barre de la phase médiane seule sert à la fois de réceptrice et d'expéditrice.

Les jonctions aux bornes des disjoncteurs de départ étant ainsi faites en planches recourbées, toutes ces connexions sur grosses barres sont nettement visibles et abordables. Tout ce dispositif est visible sur la photographie (fig. 3).

Nous ajouterons que la position respective des interrupteurs 1 000 A au-dessus des transformateurs a pu être prévue telle que pour deux des transformateurs au moins les montées aux bornes, constituées pour chaque phase et chaque appareil par deux fois un câble 600 mégohms, 299 mm², sont localisées dans un même plan vertical contenant à la fois les trois bornes basse tension du transformateur de 375 kv-A et les trois prises de l'interrupteur. Il en résulte qu'il n'y a presque pas de circulation de courant dans le sens transversal.

Départs vers l'atelier. — Malgré l'encombrement de ces départs, assez considérable, puisqu'il s'agissait d'une capacité de 3 000 A, répartie en cinq lignes dont trois composées de deux câbles par phase de chacun 199 mm² et deux de un câble de 154 mm² par phase, nous avons pu réaliser la condition que nous nous étions imposée d'avoir un arrière de panneau sans câbles, en les faisant partir par le haut du châssis, de manière à en former le plafond du passage réservé derrière le tableau, puis en les recourbant convenablement de manière à en tapisser la cloison et à les disposer du même coup dans un plan vertical et dans l'ordre qu'ils garderont ensuite dans toute l'usine. Ceci se voit tant sur la figure 3 que sur la figure 2 B.

On peut ainsi surveiller commodément leur échauffement et garder la plus grande liberté de circulation derrière le tableau. Il est facile de suivre un fil de phase déterminée tout au long de la canalisation, de telle sorte qu'en quelque point que se produise une anomalie sur son parcours, elle peut être immédiatement repérée jusqu'à l'origine même du tableau.

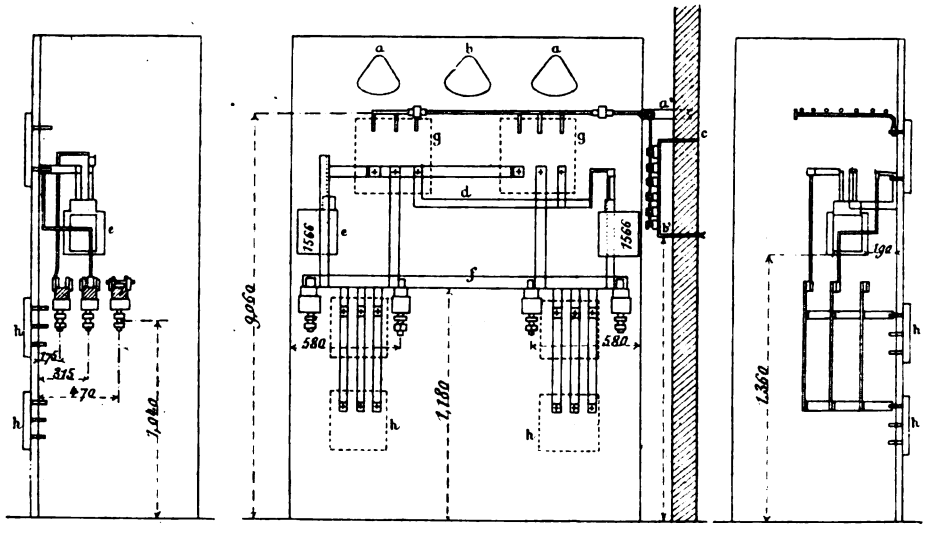
d) *Panneau lumière.* — Le dernier panneau est réservé à la lumière dont les conducteurs forment un réseau nettement distinct de celui des câbles force.

L'ordonnance du panneau est simple. Les trois phases de chacun des transformateurs lumière arrivent aux

Digitized by Google

bornes respectives de deux disjoncteurs à maximum, seulement après avoir traversé deux ampèremètres directs de 180 A, soit un appareil par transformateur.

Au sortir des disjoncteurs, le courant est, pour deux des phases, totalisé sur deux barres, planches de cuivre de 60 mm × 5 mm, traversant deux transformateurs de mesure alimentant un compteur en système déséquilibré et, de plus, deux ampèremètres totalisateurs. Ces planches sont ensuite connectées aux barres générales d'où partent les quatre lignes d'atelier à 90 A l'une,



constituées par des câbles 22 mm², 600 mégohms et commandées par quatre interrupteurs de même intensité placés sur le devant du panneau. L'arrière du panneau est représenté par la figure 7.

Vu de face (fig. 4) ce panneau marbre, formé de trois plaques de 600 mm sur 2 470 mm, a été disposé aussi symétriquement que possible par rapport au panneau de contrôle haute tension auquel il fait pendant. En bas, sur deux rangées, les quatre interrupteurs de 90 A, dont nous venons de parler, encadrent la poignée du disjoncteur haute tension, commun aux deux transformateurs de 30 kv-A; au-dessus se trouve le commutateur à trois directions du voltmètre 130 v, lumière, que nous rencontrons ci-après; plus haut, le compteur de l'énergie d'éclairage, alimenté par les deux transformateurs d'intensité précédemment cités, est fixé entre les deux ampèremètres totalisateurs 300/5 A, au-dessus sont alignés les deux disjoncteurs, dans le prolongement même de la ligne des disjoncteurs force; enfin, tout en haut et au centre, le voltmètre à 130 v sépare les deux ampèremètres 180 A des transformateurs 30 kv-A.

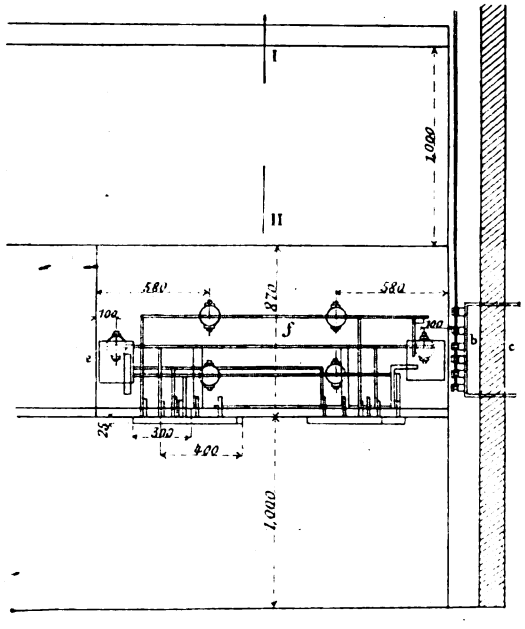


Fig. 7. — Le panneau est supposé vu par un observateur placé face au marbre du tableau et regardant le marbre enlevé.

III. — Coup d'œil sur l'ensemble du tableau marbre.

— Le tout est disposé de manière qu'il y a quatre lignes bien tranchées d'appareils, courant dans le sens horizontal d'un bout à l'autre du tableau résultant formé par les trois panneaux qu'on vient de décrire, soit en se déplaçant de bas en haut.

La ligne des leviers de manœuvre des appareils à huile haute et basse tension.

Celle des prises de tension et commutateurs à trois directions.

Celle des disjoncteurs basse tension dans l'air.

Celle des ampèremètres et voltmètres.

Pour éviter autant que possible la transmission au tableau des vibrations des appareils à carcasse métallique le tableau comprenant appareillage, marbre et grosses barres est monté sur un H composé de trois poutrelles à treillis, deux verticales et une horizontale; les pieds des deux poutrelles verticales étant enrobés dans un massif de ciment distinct du massif des transformateurs et le méplat des ailettes supérieures de la poutrelle horizontale supportant directement le bord

Digitized by Google

inférieur des plaques de marbre posées sur bandes de plomb intermédiaires. L'ensemble est ainsi indépendant du reste de la construction.

Nous ajouterons que nous avons d'abord placé les divers appareils de mesure et de manœuvre sur la surface du marbre en tenant compte uniquement de leur rôle et de la symétrie sans nous préoccuper tout d'abord des canalisations ou barres de connexion et que, grâce à l'unité d'ensemble résultant du respect des rôles joués par les appareils, les canalisations se sont placées d'elles-mêmes dans des plans différents et sans croisement derrière le tableau, aussi bien celles d'énergie que les fils des secondaires des réducteurs d'intensité et de tension.

IV. — **Canalisations d'atelier.** — Au point de vue de la distribution d'énergie dans l'atelier, nous avons vu qu'elle se composait de 18 câbles de 196 mm² de section et de 6 câbles de 154 mm².

15 des câbles de 196 mm², soit 3 × 5, alimentent cinq moteurs de 100 ch actionnant des pompes d'accumulateur-d'eau. Ces cinq moto-pompes ont ceci de particulier qu'ils sont à commande automatique, fonction d'enclenchements et de déclenchements de leviers actionnés par l'accumulateur. Il fallait pouvoir intervertir à volonté le fonctionnement de l'une et l'autre pompe, de manière à ce que ce ne soit pas toujours la même qui entre en fonctionnement la première et, par conséquent, assume ainsi le service le plus long. Il fallait, d'autre part, que les cinq pompes ne puissent jamais être actionnées par un même levier, étant d'ailleurs indifférent que les cinq leviers déclanchent accidentellement la même pompe.

Le problème a été résolu, simplement, à l'aide d'une grille analogue à celles en usage dans les secteurs et d'une combinaison de fiches et de trous de diamètre et d'écartement convenablement différents.

Les autres lignes, trois derniers câbles de 196 mm² et six câbles de 154 mm², alimentent des moteurs d'atelier.

Quant à la lumière, nous avons ceinturé les ateliers avec trois câbles de 22 mm², répartis en quatre départs de 90 A à partir du poste, soit deux à droite et deux à gauche. Ces câbles sont bouclables ou non à l'aide d'interrupteurs, d'où avantage, tant au point de vue des chutes de tension que de l'isolement momentané de certaines lignes.

Renseignements divers. — L'ensemble a été continuellement disposé pour que les phases ayant été numérotées 1, 2, 3 à la sortie du secteur, tout appareil du panneau de marbre et autant que possible des ateliers, regardé de face, présente de gauche à droite les phases dans le même ordre 1, 2, 3.

Avec 235 v obtenus à la commande aux bornes des transformateurs à vide, on a bien eu aux bornes des moteurs en marche les 220 v prévus et avec 125 v à vide aux bornes des transformateurs lumière, au moins 115 v à celles des lampes les plus éloignées. Malgré la difficulté de se procurer du matériel, toute l'installation a été faite en matériel entièrement neuf, en dessous des limites de dépenses prévues et dans l'intervalle de neuf mois entre la première demande de prix et la mise en marche totale.

Le montage du poste exécuté d'après nos plans par le personnel de la Compagnie d'Electricité de Marseille a été réalisé avec une précision et une célérité de la part de ce personnel et de son chef de travaux, M. Mary, qui fait le plus grand honneur à cette société!

Nous pouvons ajouter que, depuis sa mise en marche à la mi-novembre 1915, ce poste a marché jour et nuit jusqu'à ce jour et n'a donné lieu à aucun incident d'aucune sorte.

A. Racapé,
Ingénieur E. S. E.

Détail de la légende, figure 1, page 760.

a) transformateur de potentiel et les coupe-circuits fusibles du volmètre enregistreur ; b) sectionneurs d'arrivée du courant haute tension et dispositifs pour installation de mesures en marche s'il est nécessaire et sans arrêter le travail des ateliers ; c) disjoncteur général haute tension, tête de ligne ; d) réducteurs d'intensité des maxima de c ; e) réducteurs d'intensité des appareils voltmètre et ampèremètre du panneau de contrôle à haute tension ; f) sectionneurs de départ du courant haute tension vers les transformateurs d'énergie ; g) réducteurs d'intensité des maxima des disjoncteurs M ; h) transformateurs de potentiel du wattmètre enregistreur du panneau de contrôle haute tension ; i) sectionneurs de départ du courant haute tension vers les transformateurs lumière ; j) réducteurs d'intensité des maxima du disjoncteur général lumière ; k) disjoncteur général lumière ; l) sectionneurs de répartition du courant haute tension à chacun des transformateurs lumière, placés en sous-sol ; m) disjoncteurs à maximum et minimum des transformateurs d'énergie placés au rez-de-chaussée, directement en face ; n n) fils généraux de distribution du courant haute tension dans le poste. (Les majuscules sont les références des divers types de ferrures employées dans le poste)

Détail de la légende, figure 2, page 761.

a) conducteurs généraux haute tension 5 250 v ; b) sectionneurs commandant les descentes aux transformateurs d'énergie ; c) réducteurs d'intensité des maxima des disjoncteurs des dits transformateurs ; d, d_1, d_2) disjoncteurs 5 250 v des dits transformateurs et tige de la commande à distance ; e) transformateurs d'énergie 5 250 v/235 v, 375 Kv-A ; f) partie supérieure d'une des poutrelles verticales indépendante de la charpente du poste et portant le tableau marbre des appareils de mesure ; g) transformateurs lumière 5250/125 volts ; h départ des câbles 115 volts du courant lumière ; i) interrupteurs à huile de la basse tension des transformateurs d'énergie ; j) disjoncteur général 5 250 v ; k) disjoncteur 5 250 v des transformateurs lumière ; l, l', l'' câbles 220 v de départ du courant vers les ateliers ; m m) Panneau marbreblanc ; n) trous pour la descente des câbles 5 250 v aux disjoncteurs des transformateurs d'énergie et pour la visibilité de leurs sectionneurs à partir du rez-de-chaussée ; l) volant extérieur de déclanchement du disjoncteur général haute tension en cas d'accident dans ce poste ; x) portes coulissantes donnant libre sortie aux transformateurs d'énergie ; y) emplacement au rez-de-chaussée des transformateurs d'énergie ; z, crochet pour sortir le transformateur lumière ; PP', faux plancher.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

De quelques matières premières nécessaires à l'industrie électrique

Le mica (*Suite et fin*)

Nous donnons ci-dessous la fin de l'étude de M. Pector sur le mica (voir R. G. E., 3, 10 et 17 mai 1919, p. 673, 701 et 735). Dans cette dernière partie, l'auteur examine les différents marchés de mica du monde et donne ses conclusions où il demande que des recherches de gisements de mica soient faites dans nos colonies et qu'un important marché de mica soit créé en France.

Marchés de vente. — *Pour le mica indien* : London, New-York, Hamburg, Anvers et Paris.

Pour la période de 1898 à 1903 la cote moyenne du mica indien sur le marché de London par quintal a été de :

£ 5,25	celui du Bengale
4,69	de Madras
3,80	de Rajputana.

Pour la période de 1903-1904 à 1907-1908, l'exportation du mica indien s'est répartie de la façon suivante :

Tableau III.

A destination des marchés de	Quantité moyenne		Valeur moyenne		Valeur par quintal anglais
	quintaux anglais	pourcentage du total	livres sterling	pourcentage du total	
London	17 226	52,8	102 307	61,9	£ 5,94
New-York	4 781	14,7	29 497	17,8	6,17
Hamburg	7 391	22,7	21 337	12,9	2,89
Anvers	1 050	3,2	3,551	2,1	3,38
Paris	558	1,7	2,497	1,5	4,47
Autres marchés	1 599	4,9	6,214	3,8	3,89

Sur le marché de London on classe ainsi les feuilles de mica façonné : mica rubis et grossier, mica blanc transparent, mica décoloré et fumeux et mica noir ou avec défauts. Le classement est basé sur les graduations suivantes : si l'on donne au mica rubis la valeur de 8 par exemple, on paiera 4 pour le blanc, 2 pour le décoloré et 1 pour le noir ou avec défauts, de mêmes dimensions.

Les classements et prix approximatifs du meilleur mica rubis, par livre anglaise, étaient entre 1903 et 1908 de :

Pour feuilles mesurant :				Shillings.	Pence.
Pour le n° 1 de	36 à 50	pouces carrés..		6	8
2	24 36	id.	..	4	
3	16 24	id.	..	2	
4	10 16	id.	..	1	
5	6 10	id.	..		4
6	4 6	id.	..		2

Mais, dès 1912, les classements et prix étaient changés ainsi qu'il suit :

			Rubis du Bengale.			
			clairés shillings	légèrement tachetées shillings	tachetées shillings	
N° 1 feuilles mesurant de	24 à 36	pouces carrés	8/9		6/6	Les feuilles mesurant plus de 36 pouces carrés font l'objet de prix spéciaux.
2	id.	15 24	7/9	7/3	4/8	
3	id.	10 15	6	5	4/4	
4	id.	6 10	4/6	3/9	2/10	éclats
5	id.	3 6	2/1	1/3		— 7
6	id.	2 3	53/4			— 4 1/2

Digitized by Google

On a adopté à London, récemment, 2 classements nouveaux, les nos 7 et 8 pour des qualités inférieures de mica dont l'industrie a pu réussir à tirer parti.

Les plus forts numéros des assortiments ci-dessus désignent les qualités les plus ordinaires.

Les prix de 1914 ont augmenté, durant la guerre, de 30 à 50 pour 100, en octobre 1917. La cote, à la même date, du n° 6 était d'environ 3 fr le kilogramme. Les autres numéros allaient en augmentant jusqu'à 100 fr et plus pour la meilleure qualité sans tache et la plus blanche possible.

Le prix du n° 5, à Paris, dans le premier semestre de 1914 était de 6 à 7 fr le kilogramme et à fin octobre 1918, du fait de la raréfaction du produit pour défectuosité de transport et du fait de sa réquisition par les Etats belligérants, le produit était coté entre 27 et 28 fr, sans préjudice d'une nouvelle hausse éventuelle.

Quant au mica des Etats-Unis, consommé dans le pays même, il a pour principaux marchés :

Boston : pour le produit du New Hampshire; il y est utilisé par l'industrie bostonienne;

New-York : où l'on broie le « scrap » du New Hampshire et où se vendent les trois quarts de la production du North Carolina ;

Chicago : absorbe le quart des produits de North Carolina et la moitié de ceux du South Dakota;

Saint-Louis : consomme la moitié des micas du South Dakota ;

Quelques localités de l'*Ohio*, du *Michigan* et de l'*Indiana* achètent une faible partie des micas du North Carolina.

Le prix moyen du mica en feuilles aux Etats-Unis était de 24,1 cents par livre en 1908 et 12,9 cents par livre en 1909. Les prix varient généralement suivant les divers Etats de l'Union. Ainsi, en 1908, ce mica était coté dans

Le North Carolina	9,4 cents
Le South Dakota	21,4
Le New Hampshire	21,6
Le Virginia	51,1
L'Alabama	25,
Le New York	19,2
Le Georgia	5,

En 1908 la moyenne de la production totale était estimée à 11,26 $ par tonne. Les prix en 1909 pour feuilles de mica fabriquées pour usage des poëles commençaient à 75 cents la livre pour feuilles mesurant 2 × 2 pouces et finissaient à 7 $ par livre pour feuilles mesurant 6 × 8 pouces.

La moyenne des prix, en 1910, était de 11,5 cents la livre. Pour le mica en feuilles du North Carolina, on cotait 42,5 cents la livre.

Du New Hampshire	22,3 cents	la livre
Du South Dakota	3,6	la livre
En morceaux	13,10 $	la tonne

On ne peut donner les prix de l'époque pour feuilles de mica façonnées, les escomptes accordés par les vendeurs variant avec la nature des achats. En 1910, on accordait des escomptes allant de 10 à 70 pour 100 aux acheteurs de mica à poëles et de 10 à 60 pour 100 pour les micas d'usages électriques.

Les prix par livre cotés en 1911 ont été :

Pour le mica à poëles. dimensions		Pour le mica d'usage électrique. dimensions	
1 1/2 × 2	1,20 $	1 × 3	1,75 $
2 × 2	2	1 × 6	5,50
2 × 3	3,50	1 1/2 × 4	2,75
3 × 3	5,75	2 × 4	3,50
3 × 4	7	2 × 7	7,25
4 × 6	9,50	3 × 6	11

Ces prix ont naturellement considérablement augmenté depuis cette époque.

Pour ce qui est du mica du Canada, ses marchés principaux sont à Montréal et Québec.

« Il n'est pas facile, dit aux pages 53-55, le *Rapport* (officiel) *sur les opérations minières dans la province de Québec durant l'année 1916*, Québec 1917, de donner des chiffres d'une statistique analytique de mica, à cause de la diversité des produits de ces micas et de la grande variation des prix selon la grandeur des feuilles. On met le mica sur le marché sous plusieurs formes ou degrés de préparation, dont les principaux sont : le mica dégrossi au pouce (thumb-trimmed), le mica fendu, le mica en paillettes ou en bribes; le mica pulvérisé. Les prix du mica en bribes et du mica pulvérisé varient de 3/4 cents (de dollar) à 1 1/2 cent la livre anglaise de 460 grammes, tandis que le mica dégrossi, en feuilles de grandes dimensions se vend jusqu'à 1,50 $ la livre. Le mica fendu, c'est-à-dire divisé en feuilles très minces, de 1 à 2 millièmes de pouce, épaisseur d'une feuille de papier mince, représente un degré encore plus avancé de préparation, qui en augmente considérablement la valeur... La production de 1916 comprend 300 tonnes de mica en bribes ou paillettes qui représentent une valeur de 20 $ la tonne (anglaise), aussi bien que du mica de grandes dimensions vendu à raison de 1,50 $ la livre. »

Les prix, en 1910, du mica broyé sur marchés canadiens variaient de 45 $ à 75 $ la petite tonne, suivant qualités, et les débris, de 10 à 15 $. Mais ces prix étaient naturellement moindres pour marchandise prise à l'usine de façonnage :

De 20 à 30 $	la tonne	suivant finesse, de mica ambré.
De 15	id.	pour débris de mica ambré.
De 36 à 46 $	id.	pour mica blanc 40 à 20 mailles.
De 8	id.	mica blanc en bribes.

Les prix moyens de 1916 pour les grandeurs « Standard » de mica dégrossi ont été les suivants :

1 × 1 pouce	5 1/2 à 6 1/2 cents	de dollars la livre anglaise.
1 × 2	11 à 14	id.
1 × 3	16 à 20	id.
2 × 3	40 à 45	id.
2 × 4	65	id.
3 × 5	90	id.
4 × 6	1 dollar 25	id.

Digitized by Google

Les gros négociants en mica de London, MM. F. Wiggins and sons disaient, en 1910, que les micas du Canada sont rarement à la hauteur de l'échantillon comme qualité et catégorie et contiennent généralement beaucoup d'impuretés.

Marché de London. — A ce marché, qui se tient à Mincing Lane, aboutissent toutes sortes de catégories de mica de provenances les plus diverses (Indes anglaises, Afrique du Sud, Australie, Ceylan, Amérique, Brésil, Japon). Nous donnons ci-dessous un aperçu des transactions de ce marché, en caisses de 112 livres de poids, pour la période de 1908 à 1910:

	Arrivages à London.	Livraisons	Stocks au 31 décembre.
1908.....	21 309	17 006	12 123
1909.....	19 929	21 878	10 174
1910.....	18 995	22 841	5 238

Avant la guerre il y avait chaque trois semaines des ventes par courtiers. Ceux-ci exposaient dans leurs bureaux des échantillons des diverses catégories de mica pour chaque arrivage. Après examen sérieux par les acheteurs, les lots étaient vendus en vente publique le troisième jour.

Le marché de London, qui était, avant la guerre, le marché de mica le plus important du monde, a perdu de son importance durant les hostilités : car le gouvernement britannique a interdit, dès 1917, aux négociants de ce marché d'exporter le produit à l'étranger, même aux pays alliés de l'Entente, soit d'Angleterre, soit directement des colonies anglaises productrices.

La plupart du mica importé de New-York est acheté à London. Mais, quand il y avait contrat, c'étaient les grands producteurs de l'Inde qui expédiaient les lots directement en Allemagne et aux États-Unis. La majeure partie de ces envois de l'Inde sont faits par dix ou douze maisons qui exploitent elles-mêmes les gisements et font des achats aux petits producteurs.

Conclusion. — La région parisienne possède sur son territoire maintes usines de constructions de machines et appareils électriques de toute nature qui emploient le mica dans leur fabrication. Ces établissements industriels, dont le nombre ne pourra qu'aller en augmentant après la guerre, vont avoir besoin de se réassortir de cette matière en plus grande quantité, dans de meilleures conditions d'achat qu'en 1914, et avec une plus grande rapidité. Ce sont là des desiderata difficiles à obtenir pratiquement. Ce but pourrait être atteint par la constitution, par l'initiative privée et non gouvernementale, d'un ou de plusieurs comptoirs d'achat de mica en commun, conformément aux principes économiques exposés sur ce sujet dans une étude du numéro du 15 septembre 1917 de la « Revue générale de l'Électricité ». Mais, si les intéressés français de l'électricité (auxquels pourraient se joindre les manufacturiers employant le mica, constructeurs d'appareils de chauffage, fabricants de papiers peints, fleurs artificielles, décoration de cartes postales, etc.), devaient, pour alimenter ce ou ces comptoirs d'achat en commun, aller s'approvisionner sur les marchés de London, New-York ou autres, ils se verraient encore en état d'infériorité vis-à-vis de leurs concurrents étrangers, industriels ayant recours aux mêmes marchés de mica. De là s'imposent les deux alternatives suivantes :

Il est urgent qu'un syndicat privé français subventionne une mission composée d'ingénieurs des mines, géologues et minéralogistes compétents, chargée d'étudier avec soin les gisements de mica déjà signalés en France métropolitaine, en Algérie, en Cochinchine, à la Côte-d'Ivoire, au Dahomey, au Soudan, au Niger, au Gabon, à Madagascar, à la Martinique, en Guyane française et en Nouvelle-Calédonie, pour voir s'il n'y a pas lieu de développer en grand l'extraction du mica dans les uns ou les autres de ces gisements, jugés jusqu'à présent, peut être à tort, comme de rendement trop réduit. A cette mission seraient adjoints : un ingénieur électricien qui reconnaîtrait les espèces spéciales convenant à l'industrie électrique; un commerçant qui calculerait le prix de revient maximum que devrait atteindre le mica de la région étudiée rendu au port d'embarquement ou à la station du chemin de fer la plus proche du centre d'extraction, (main-d'œuvre, pour extraction, façonnage, emballage, transport terrestre, etc.) ; un financier, susceptible de comprendre l'intérêt qu'il y aurait pour tous de faire aux producteurs de France ou de l'extérieur des avances sur les envois (en consignation ou par contrats) qu'ils pourraient faire sur marché français ; un armateur qui devrait combiner les conditions d'embarquement avec le fret maritime le plus réduit pour le transport aux ports français des lots de mica destinés aux marchés français ; enfin, un publiciste qui, au cours de la mission, publierait dans la presse de chaque pays producteur de mica que traverserait la mission des articles en faveur des marchés français.

Que la mission d'étude ait trouvé ou non des gisements importants de mica exploitables avec bénéfice en France métropolitaine ou coloniale, la nécessité s'impose de créer en France un marché important de mica. Ce marché devrait être situé à Paris, centre de la construction de machines et accessoires électriques, d'appareils de chauffage, de fabrication du papier peint et de nombreuses applications du mica à l'industrie parisienne.

Espérons que les suggestions précédentes pourront retenir l'attention des protagonistes de l'industrie électrique française pour le plus grand profit de ses débouchés tant en France métropolitaine qu'aux colonies françaises et à l'étranger.

Désiré Pector,
Conseiller honoraire du Commerce extérieur.

Digitized by Google

Assemblées générales

Compagnie centrale d'Eclairage et de Transport de force par l'électricité (Compagnie d'Electricité de Limoges).

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 28 AVRIL 1919.

Les recettes d'éclairage et de distribution de force se sont élevées, pour l'exercice 1918, à 1623245 fr contre 1385008 fr en 1917.

Ce résultat eût été très satisfaisant si, par contre, les dépenses d'exploitation n'avaient été, de leur côté, beaucoup plus fortes qu'en 1917. Elles ont atteint 1079520 fr, au lieu de 706265 fr.

Cette augmentation est due, d'une part, à la surélévation des prix du charbon et à sa médiocre qualité et, d'autre part, à la sécheresse de l'été dernier qui, pendant plusieurs mois, a privé la société de l'énergie produite à l'usine hydro-électrique du Saillant.

Pendant l'année 1918, le réseau de canalisation à Limoges a été sensiblement étendu. La société a dû, toutefois, se borner à ne faire que les nouvelles canalisations indispensables, la puissance de production se trouvant presque entièrement absorbée par les fournitures actuelles.

Les bénéfices nets s'élèvent à 453700,13 fr desquels il faut déduire le remboursement des obligations amorties en 1918, soit 31230,80 fr.

Il est prélevé un dividende de 6 pour 100 par action, payable à partir du 1er mai.

Après déduction des amortissements et réserves, le total de ces comptes atteint, pour la réserve légale 285000 fr, pour le fonds d'amortissement des actions 230545,05 fr pour l'amortissement du compte de premier établissement, 3170489,75 fr.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1918.

Actif.

		fr
Apports suivant statuts	500 000 »	
Terrains, constructions, installations et divers	11 226 290,67	8 765 501,05
A déduire :		
Amortissements effectués	2 960 789,62	
Compteurs		1 »
Titres en portefeuille		1 341 263,75
Marchandises en magasin		198 802,50
Débiteurs divers :		
Abonnés		455 879,85
Cautionnement et avances diverses		6 574,60
Effets à recevoir		23 100 »
Caisses et banques		1 808 596,93
Impôts sur titres à recouvrer		18 761,31
Primes de remboursement sur obligations		2 127 006,30
		14 745 487,29

Passif.

	fr
Capital	2 850 000 »
Obligations en circulation :	
6 %	3 000 000 »
4 %	1 378 000 »
3 %	4 546 500 »
Réserve légale	285 000 »
Fonds d'amortissement des actions	215 545,05
Créditeurs divers	41 474,10
Fournisseurs	1 514 293,55
Avances sur canalisations	1 765,85
A reporter	13 832 078,55
Report	13 832 078,55
Obligations amorties et coupons échus non encore présentés	252 715,86
Provision pour entretien d'accumulateurs	118 598,40
Comptes d'ordre	87 894,75
Profits et pertes : exercice 1918	453 700,13
	14 745 487,29

Compagnie générale de Travaux d'Eclairage et de Force, Anciens Etablissements Clemançon.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 30 AVRIL 1919.

Les bénéfices de l'exercice 1918 forment un total de 378021,93 fr en progression seulement de 22066,88 fr sur le montant des bénéfices de l'exercice précédent, malgré un chiffre d'affaires sensiblement supérieur. Cela résulte de l'ascension continue du prix de la main-d'œuvre et des matières premières compensée difficilement par la majoration des prix de vente, par suite des forfaits et contrats.

Le report de l'année dernière était de 12992,06 fr, ce qui donne un solde disponible de 391013,99 fr. Sur ce solde, il est versé 127689,67 fr aux divers amortissements; 5 pour 100 au capital-actions (impôts à déduire) soit 75000 fr; 17533,22 fr au Conseil d'administration; un dividende supplémentaire aux capital-actions (impôts à déduire) soit 90000 fr; à la réserve de prévoyance, 20000 fr; à la réserve pour complément d'assurances-incendie, 35000 fr; à la réserve pour créances douteuses, 20000 fr; à un compte à reporter 5791,10 fr, soit un total de 391013,99 fr.

Le dividende a donc été fixé à 27,50 fr (soit 11 pour 100 du capital) supérieur de 2,50 fr à celui de l'an dernier.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1918.

Actif.

	fr
Fonds de commerce	1 »
Constructions et installations	1 »
Agencement et mobilier	1 »
Matériel d'exploitation	1 »
Machines et tours	1 »
Matériel d'expériences	1 »
Outillage	1 »
Modèles	1 »
Immeubles	217 870,90
Matières premières et marchandises en magasin	836 674,50
Matériel en location	260 482,19
Titres en portefeuille	213 058,30
Cautionnements et loyers d'avance	23 678,60
En caisse	37 492,33
Chez les banquiers	170 147 »
Effets à recevoir	74 827,85
Débiteurs et travaux en cours	2 217 194,08
	4 051 433,75

Passif.

	fr
Fonds social	1 500 000 »
Créditeurs divers	1 242 254,51
Effets à payer	7 069,05
Coupons et dividendes à payer	45 357,60
Cautionnements à rembourser	30 738,60
Réserve légale	150 000 »
Réserve pour créances douteuses	70 000 »
Réserve pour complément d'assurances-incendies	185 000 »
Réserve de prévoyance	430 000 »
Solde de l'exercice 1918	391 013,99
	4 051 433,75

Digitized by Google

SECTION DE LÉGISLATION

Notes sur l'application pratique de la loi du 15 juin 1906 et des règlements annexes (*suite*) (1)

Y a-t-il lieu pour une Compagnie de tramways qui fait de la distribution d'énergie électrique de recourir à l'autorisation par concession ou par permission de voirie? Quand un concessionnaire de distribution n'exécute pas ses engagements, comment convient-il de procéder pour assurer le service? En ce qui concerne les concessions antérieures à la loi du 15 juin 1906, quand le concessionnaire demande la modification de son contrat, peut-on faire approuver cette modification purement et simplement ou n'y a-t-il pas lieu de lui imposer un nouveau contrat, conforme au cahier des charges type, prévu par la loi de 1906? Pour ces mêmes concessions antérieures à la loi, comment doit-on autoriser l'exécution des travaux? En exigeant chaque fois une demande de permission de voirie, conformément à la procédure réglementaire antérieure à la loi, ou bien en renonçant à cette exigence comme le permet la loi de 1906? Au point de vue technique, les installations électriques qui intéressent les locaux scolaires doivent être l'objet de soins particuliers. Les industriels sont souvent pressés d'établir leurs installations et ont tendance à ne pas attendre l'accomplissement de toutes les formalités. Peut-on prendre certaines mesures qui concilient à la fois l'intérêt de la sécurité publique et celui des industriels? La distinction du service de contrôle (Etat ou commune) est parfois délicate, notamment dans le cas d'autorisation par permission de voirie: l'auteur donne quelques renseignements sur ce point.

Les deux modes d'autorisation des canalisations électriques consistent dans la permission de voirie et dans la concession. Parfois les industriels ont tendance à préférer la permission de voirie, en estimant que ce mode d'autorisation donne lieu à moins de formalités que l'autre et offre par suite l'avantage d'une solution plus rapide. Il y a là souvent une erreur, car l'octroi d'une permission de voirie nécessite les consultations des maires de toutes les communes traversées. Si elles sont nombreuses et si les maires retardent l'envoi de leur réponse, ce qui est fréquent, la solution peut se faire attendre longtemps.

En tout cas, quand il s'agit d'une Compagnie de tramways qui distribue l'énergie électrique, l'autorisation par concession ne saurait apporter aucun retard à la solution de l'affaire, puisque, de toute façon, un décret rendu au Conseil d'Etat est nécessaire pour autoriser la Compagnie à affecter une partie de ses installations et de son capital à la distribution de l'énergie électrique.

Cette mesure s'impose d'une façon toute particulière si la force motrice seule est visée dans la demande de distribution, car la concession seule permet l'application de l'article 8 de la loi du 15 juin 1906 sur l'équivalence des charges avec d'autres concessions concurrentes.

Dans le cas de défaillance d'un concessionnaire et de la nécessité néanmoins de réaliser le service public dont il était chargé, avant d'en venir à l'application de la procédure de la déchéance prévue aux articles 25 et 26 du cahier des charges, il est préférable de chercher à obtenir du concessionnaire la solution amiable qui consiste dans l'abandon de sa concession et de son cautionnement.

Les concessions d'Etat peuvent bénéficier de la déclaration d'utilité publique, aussi bien que les concessions communales, sous réserve de l'accomplissement des formalités réglementaires, notamment de l'enquête.

Quand un concessionnaire, jouissant d'une concession antérieure au 15 juin 1906, demande que des modifications soient apportées à son contrat, il y a lieu de lui donner satisfaction, nonobstant l'article 26 de la loi, si ces modifications sont d'ordre secondaire et si elles sont exclusivement favorables au public. Dans le cas contraire et en particulier s'il s'agit d'une prolongation de concession, il est nécessaire d'appliquer l'article 26 qui maintient le contrat sans modification dans sa forme et teneur.

La loi du 15 juin 1906 prévoit (article 10 et 14) que, pour les concessions, les travaux peuvent être exécutés immédiatement aussitôt que l'Ingénieur en Chef a approuvé le projet sans autre formalité. Cette approbation est d'ailleurs donnée dès que l'accord est établi entre les services intéressés. Sous le régime qui précédait celui de 1906, il n'en était pas de même; malgré la concession accordée, des autorisations par permission de voirie étaient nécessaires pour l'exécution des travaux. Il convient de faire bénéficier du nouveau régime, les concessions accordées entre le 15 juin 1906 et le 17 mai 1918, date de la promulgation du cahier des

(1) Voir les numéros de la *R. G. E.* des 21 septembre, p. 435; 16 novembre, p. 375; 30 novembre, p. 853; 28 décembre 1918, t. IV, p. 1027; 11 janvier, p. 79; 8 février, p. 237 et 12 avril 1919, t. V, p. 573.

Digitized by Google

charges type, quand bien même le cahier des charges exigerait l'autorisation préalable les canalisations par permission de voirie.

Une circulaire du 1er octobre 1912 a indiqué la forme à employer pour la rédaction des permissions de voirie. Mais il peut y avoir des cas où il convient d'apporter des modifications à cette forme, par exemple, quand le cahier des charges de la concession antérieure au 15 juin 1906 contiendrait des clauses que l'Administration considère comme contraires à la loi.

Les entrepreneurs ont hâte d'exploiter les distributions en exécutant les travaux, sans attendre l'accomplissement de toutes les formalités réglementaires, et sans se mettre au moins d'accord au préalable avec tous les services intéressés. De tels procédés sont regrettables et ils exposent les entrepreneurs à de graves inconvénients. C'est ce qui se produit par exemple, dans l'installation d'un transformateur dans la cave d'une école, malgré le service de l'enseignement, ou dans le scellement de supports de canalisations dans les murs de monuments historiques, sans consultation du service compétent.

D'une manière générale les installations de canalisations électriques dans les locaux scolaires doivent être accompagnées de précautions particulières.

Pour donner satisfaction, au moins dans une certaine mesure, aux entrepreneurs et leur permettre l'exploitation, sans trop allonger le délai réglementaire, rien ne s'oppose à ce que le service du contrôle délivre à *titre provisoire* l'autorisation de circulation du courant, mais *sous la réserve* formelle de certaines conditions qui sont précisées plus loin.

Concession. — Compagnie de tramways. Distribution d'énergie électrique par la Compagnie.

Quand une compagnie de tramways demande l'autorisation de distribuer l'énergie électrique, même pour la seule force motrice dans une ou plusieurs communes où préexistent des distributions concédées, il y a lieu de de recourir au système de la concession et non de la permission de voirie.

D'une part, en effet, l'article 8 de la loi du 15 juin 1906 ne permet de lui accorder l'autorisation de distribuer aux particuliers l'énergie électrique pour force motrice que sous la réserve qu'elle n'obtiendra pas de conditions plus avantageuses que celles dont jouissent les concessions préexistantes.

Or, le régime de la permission de voirie rendrait ici très difficile la recherche de cette équivalence de conditions d'exploitation.

D'autre part, les intérêts de la compagnie ne sauraient être lésés par les délais de l'instruction qu'exigera l'obtention de la concession et, notamment, par l'envoi du dossier de l'affaire au Conseil d'Etat, en cas de modifications au cahier des charges-type, puisqu'en tout état de cause la haute assemblée aura à connaître de la demande de la compagnie, un décret rendu en Conseil d'Etat étant nécessaire pour que la compagnie puisse affecter une partie de ses installations et de son capital à la vente de l'énergie électrique.

Concession. — Défaut d'exécution des charges de la concession. Octroi d'une autre concession. Procédure a suivre.

Quand un concessionnnaire n'a pas exécuté et ne peut exécuter ses engagements et qu'un autre demandeur en concession se présente, le pouvoir concédant ne peut procéder qu'en adoptant l'une des deux méthodes suivantes :

Ou bien, et c'est la solution préférable, obtenir à l'amiable du concessionnaire défaillant la renonciation pure et simple à sa concession, avec abandon de son cautionnement :

Ou bien entraîner contre lui la procédure de déchéance et d'adjudication définie aux articles 25 et 26 du cahier des charges.

Concession. — Déclaration d'utilité publique.

Rien ne s'oppose à faire accorder à une concession d'Etat existante le bénéfice de la déclaration d'utilité publique, sous la reserve que cette demande sera soumise aux formalités prévues par la loi, et, en particulier, à une nouvelle enquête. Cette enquête portera seulement sur la déclaration d'utilité publique.

Concessions. — Modifications.

Quand une commune, d'accord avec son concessionnaire de distribution de l'éclairage par le gaz et l'électricité, désire modifier un traité de concession antérieure à la loi du 15 juin 1906, il y a lieu, au point de vue de l'application de cette loi, de distinguer les deux cas ci-après.

Si, d'une part, les modifications apportées au cahier des charges ne sont que d'ordre secondaire, telles que : substitution d'un concessionnaire à un autre, abaissement de tarifs dans l'intérêt de la commune ou des particuliers ; si, d'autre part, les dispositions nouvelles ne dérogent ni à la loi, ni aux réglements d'administration publique, le contrat primitif peut être considéré comme subsistant dans sa teneur originaire et restant valable, par application des dispositions de l'article 26 de la loi du 15 juin 1906 sur les distributions d'énergie.

Par contre, si les modifications portent sur des points essentiels, par exemple s'il y a prolongation de la durée de la concession, il y a lieu de considérer le contrat ainsi modifié comme un nouveau contrat soumis, par suite, intégralement à la réglementation découlant de la loi de 1906.

Il s'agit alors d'une véritable concession nouvelle, qui ne peut être accordée qu'après l'accomplissement des formalités prescrites par ladite loi, notamment de l'enquête prévue par l'article 25 du décret du 3 avril 1908 et qui doit être strictement soumise aux clauses du cahier des charges type.

Digitized by Google

Toute dérogation à ce cahier des charges type ne pourrait être autorisée que par un décret délibéré en Conseil d'Etat (article 7 de la loi) et, si la commune prétend ne modifier même que partiellement son traité actuel, il est nécessaire de recourir à la procédure du décret.

Concessions. — AUTORISATION D'EXÉCUTER LES TRAVAUX DE CANALISATIONS.

A. — *Observations générales.* — Aux termes de la loi du 15 juin 1906 (art. 10), la concession confère à l'entrepreneur le droit d'exécuter sur les voies publiques et leurs dépendances tous travaux nécessaires à l'établissement et à l'entretien des ouvrages en se conformant aux conditions du cahier des charges, des règlements de voirie et des règlements d'administration publique, pris pour l'exécution de la loi.

Aux termes du décret du 3 avril 1908, les projets d'exécution sont simplement approuvés par l'ingénieur en chef (art. 34) qui autorise l'exécution des travaux.

La question s'est posée de savoir si ces dispositions étaient applicables aux concessions antérieures pour lesquelles le concessionnaire n'a le droit de conserver et établir sur ou sous la voie publique tous les conducteurs ou appareils nécessaires à la distribution de l'énergie électrique, que sous la réserve d'en avoir obtenu l'autorisation des autorités compétentes, cette autorisation étant donnée sous la forme d'arrêtés de permission de voirie.

Pour solutionner cette question, il y a lieu de tenir compte des observations ci-après :

D'une manière générale, la clause d'autorisation préalable peut se rencontrer, soit dans des contrats de concession antérieurs à la promulgation de la loi du 15 juin 1906, soit dans des contrats intervenus dans la période transitoire entre la promulgation de la loi et la publication du décret du 17 mai 1908 approuvant le texte du cahier des charges type des concessions communales.

Dans le premier cas, il y a lieu de considérer que, les concessions antérieures à 1906 ayant été maintenues par la loi (art. 26) dans leur forme et teneur, même pour celles de leurs dispositions qui lui sont contraires, pour les redevances par exemple, la clause qui rend nécessaire l'autorisation préalable pour l'occupation des voies publiques doit être tenue pour valable.

Dans le deuxième cas, il convient de vérifier si la concession a été octroyée dans des conditions qui puissent être considérées comme valables par application de l'article 60 du décret du 3 avril 1908. Il résulte en effet de la Circulaire ministérielle du 24 juillet 1909 que la clause en question devient alors sans effet, que l'article 10 de la loi est applicable et qu'une autorisation spéciale n'est pas nécessaire pour chaque occupation nouvelle des voies publiques.

B. — *Forme des autorisations.* — Quand une Compagnie de gaz et d'électricité jouit d'une concession antérieure à la loi du 15 juin 1906 et que son cahier des charges subordonne l'exécution de toute canalisation à l'octroi de permissions de voirie, il y a lieu d'adopter, pour ces permissions, la forme en usage avant la circulaire du 1er octobre 1912, à l'exclusion du modèle indiqué par cette circulaire.

Toutefois, l'Administration ne saurait consacrer, en vue d'applications nouvelles, une clause d'un traité antérieur à la loi de 1905 qui serait en contradiction absolue avec les prescriptions de cette loi.

En particulier, si la ville concédante a accordé à la Compagnie concessionnaire le privilège exclusif de distribution de la force motrice, il n'est pas possible de sanctionner cette clause en ce qui concerne l'occupation des routes nationales.

En effet, la législation nouvelle ne reconnaît comme légitime que le privilège de l'éclairage (art. 8 de la loi du 15 juin 1906).

En conséquence, les permissions à accorder à la Compagnie devront contenir la clause suivante :

« La présente autorisation tient compte du privilège antérieurement stipulé au profit de la Compagnie du gaz et d'électricité de....., sans cependant que ce privilège puisse s'étendre à l'emploi de l'énergie à tous usages autres que l'éclairage, ni à son emploi accessoire pour l'éclairage des locaux dans lesquels l'énergie est ainsi utilisée. »

Questions techniques. — LOCAUX SCOLAIRES. — INSTALLATIONS DE TRANSFORMATEURS. — NÉCESSITÉ D'UNE AUTORISATION.

L'installation d'un transformateur de courant électrique dans la cave d'une école, sans autorisation préalable, ne peut être tolérée. Le service de l'Inspection d'Académie est fondé à demander l'enlèvement de cette installation, comme constituant un danger constant d'incendie pour l'école et d'accident pour les enfants qui y fréquentent.

D'une manière générale, une installation de cette nature doit être faite dans un local isolé, muni d'une porte indépendante qui en permette l'accès du dehors.

Si l'entrepreneur de la distribution n'obtempère pas à la mise en demeure d'enlèvement, il doit être fait application sans délai au contrevenant des mesures répressives prévues par l'article 25 de la loi du 15 juin 1906 pour infraction à des dispositions édictées dans l'intérêt de la sécurité des personnes, en vertu des articles 2 et 39 § 2 de l'arrêté technique.

La plainte de l'Inspection d'Académie constituant d'ailleurs une réquisition, il appartient, le cas échéant, au service du contrôle de faire modifier d'office aux frais de la Société concessionnaire, en vertu des articles 17 § 2 et 3, et 24 § 3 de la loi du 15 juin 1906 l'installation du transformateur en vue de la rendre strictement conforme aux prescriptions du cahier des charges de la distribution.

Questions techniques. — LOCAUX SCOLAIRES. — INSTALLATIONS DES BRANCHEMENTS.

Les branchements de canalisations électriques qui pénètrent dans des locaux scolaires doivent être établis,

Digitized by Google

toutes les fois qu'il est possible, le long des murs ou façades, sous moulures ou sous plomb.

Si cette disposition ne peut être réalisée et qu'on soit obligé de recourir à des traversées, au moyen de fils aériens, toutes les garanties doivent être assurées par l'emploi de conducteurs très solides et établis à une hauteur suffisante pour que les écoliers ne puissent les atteindre.

Contrôle. — AUTORISATION PROVISOIRE DE CIRCULATION DU COURANT.

Dans l'intérêt de l'industrie électrique, si l'exploitant d'une distribution le demande, le service de contrôle peut, s'il n'y voit pas d'inconvénient, délivrer l'autorisation de circulation du courant à titre provisoire, dans le cas où les installations ne satisfont pas dans toutes leurs parties aux conditions imposées, soit par les règlements, soit par les services intéressés, sous réserve de la réalisation de ces conditions dans un délai déterminé et sous la condition que l'exploitant consente à supporter toutes les responsabilités qui peuvent résulter de cette situation.

Contrôle. — AUTORISATION PAR PERMISSION DE VOIRIE. — ORGANISATION DU CONTROLE.

Quand une distribution d'énergie électrique, s'étendant sur plusieurs communes, est soumise au régime des permissions de voirie et que, en raison de la nature des voies publiques empruntées, le contrôle est dévolu seulement aux communes, le contrôle doit être exercé, séparément dans chaque commune, par les agents délégués par la Municipalité. Mais il appartient à l'Ingénieur en chef du Contrôle, qui a tous les agents sous sa surveillance, de coordonner leurs services de manière à assurer l'unité de contrôle dans l'ensemble du réseau de distribution.

Mais si les canalisations empruntent, même en un seul point, la grande voirie (traversée des routes nationales, des chemins de fer, des rivières navigables, etc...), le contrôle de la distribution est exclusivement fait par l'Etat, par application de l'article 16 de la loi du 15 juin 1906.

Contrôle. — DISTRIBUTION PAR PERMISSION DE VOIRIE. — CONTROLE EXLUSIF DE L'ETAT.

Quand une distribution d'énergie électrique établie par permission de voirie constitue manifestement une distribution unique reliée à une ou plusieurs centrales, le contrôle doit en être exercé exclusivement par l'Etat, quel que soit le nombre des communes traversées, quelle que soit la nature des voies empruntées, du moment qu'une partie de cette distribution traverse ou emprunte une route nationale.

Divers. — CANALISATION ÉLECTRIQUE SCELLÉE DANS LE MUR D'UN MONUMENT HISTORIQUE.

Doivent être enlevés les supports d'une canalisation électrique qui ont été scellés dans le mur d'un monument historique, sans que l'Administration des Beaux-Arts ait été consultée avant l'exécution des travaux, par application de la loi du 30 mars 1887; quand cette Administration s'oppose au maintien des supports, le tracé de la canalisation aérienne doit être modifié ou bien il doit être fait usage de canalisation souterraine; en tout cas, les murs du monument doivent être remis dans leur état primitif.

A. MONMERQUÉ,
Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

ERRATUM

Dans le numéro du 26 avril dernier, t. v, p. 643, nous avons fait paraître une analyse d'une étude de MM. Dubbs et Graniger sur « La vie chère et le relèvement des salaires » parue dans la « Schweizerische Bauzeitung ».

Notre confrère suisse nous écrit à ce sujet :

« Nous tenons à attirer votre attention que nous avons ultérieurement rectifié à la page 38 de notre numéro du 25 janvier : les courbes de la figure 1 ne donnent pas les renchérissements unitaires pour 1918, mais les frais d'entretien en 1914, ainsi que le dit du reste le texte (page 643 de votre revue, colonne du texte gauche, 10e ligne en remontant). »

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF :
Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 22. — 31 MAI 1919.

Avis. — Chronique. — Le chauffage électrique domestique. — Sur l'orthographe des mots techniques. — Bibliographie : On the Lichtenberg Figures (sur les figures de Lichtenberg), par P.-O. PEDERSEN; L'Index des Arts industriels, p. 777-778.

Section scientifique et technique. — Essai à puissance réduite des alternateurs, par TOGNA, p. 779. — Sur les machines à haute fréquence et leur réglage, par J. BETHENOD, p. 787. — Revues, analyses et informations : Potentiels d'ionisation et de résonance relatifs aux électrons dans les vapeurs d'arsenic, de rubidium et de cæsium, p. 794; Emission et absorption des photoélectrons par le platine et l'argent, p. 794.

Section industrielle. — L'avenir du labourage électrique et le remembrement de la propriété rurale, par Ach. DELAMARRE, p. 795. — Relais employés en télégraphie sous-marine, par J.-B. POMEY, p. 797. — Revues, analyses et informations : Exploitation accélérée sur les longs câbles sous-marins, p. 802; Porte-balais pour balais au charbon, p. 804; L'emploi de l'électricité dans les mines d'anthracite, p. 805.

Section économique et financière. — Revues, analyses et informations : Offices commerciaux français à l'étranger, p. 807. — Assemblées générales : Société générale de Forces motrices et d'Eclairage de la ville de Grenoble, p. 808.

AVIS. — *Messieurs les actionnaires de la* Revue générale de l'Electricité *sont convoqués en* **Assemblée générale ordinaire annuelle**, *conformément à l'article 30 des statuts, pour le* **mercredi 11 juin 1919,** *à 11 heures, au siège social, 12, place de Laborde, à Paris.*

L'assemblée générale se compose de tous les actionnaires quel que soit le nombre d'actions possédé par eux. Tout actionnaire, pour avoir le droit d'assister ou se faire représenter à l'assemblée générale, doit être inscrit sur les registres de la Société seize jours au moins avant celui fixé pour la réunion.

Le chauffage électrique domestique. — Quoique l'époque actuelle ne soit pas celle où le chauffage artificiel, quel qu'il soit, est apprécié, il n'est pas sans intérêt de songer à l'hiver et aux procédés modernes dont nous pouvons disposer pour nous préserver de ses rigueurs.

Du reste les journaux anglais préparent déjà la « saison » et dans une série d'articles, notre confrère « The Electrician » donne des détails d'ordre pratique sur la construction et l'emploi des appareils de chauffage électrique.

Certains radiateurs décrits sont fort ingénieux; on en trouve qui utilisent l'eau comme volant de chaleur, ils consistent en une résistance en alliage de nickel-chrome enroulée sur une pièce isolante, quelquefois enrobée dans un silicate et finalement enfermée dans un récipient métallique d'où l'on a chassé l'air pour le remplacer, chose curieuse, par de l'hydrogène. Grâce à ce procédé, on peut pousser la température sans craindre la détérioration de la résistance qui se trouve de ce fait en milieu réducteur et à l'abri de l'oxydation. Des éléments de ce genre, entièrement hermétiques, sont plongés dans l'eau remplissant un radiateur. Des tubes analogues sont également utilisés pour amener l'eau d'une bouillotte à l'ébullition, enfin d'autres servent au chauffage d'étuves de laboratoire.

Quoi qu'il en soit, on voit que la question du chauffage électrique est à l'ordre du jour, seul le prix de l'énergie peut être un obstacle à son emploi général.

Mais ne pourrait-on pas, comme nos amis italiens y ont songé, fournir pour cette application spéciale, du courant « dénaturé » qui serait vendu à un tarif spécial?

Nous nous expliquons tout de suite sur le mot dénaturé : il s'agit de fournir du courant qui pourra être utilisé dans les appareils de chauffage seuls et avec lequel il ne sera pas possible de faire fonctionner pratiquement des moteurs ou même des lampes.

Un courant variable, lentement croissant ou décroissant ou même interrompu toutes les cinq minutes par exemple peut convenir, car il est évident qu'avec de telles variations on ne peut songer à utiliser convenablement des lampes ou des moteurs; par contre les appareils de chauffage s'accommoderaient très bien de ce régime variable auquel un tarif spécial exceptionnellement bas pourrait être appliqué. Enfin, aux heures de pointe, on supprimerait complètement ce courant, la chaleur emmagasinée dans les locaux pendant la journée pouvant suffire puisque la pointe ne se produit guère qu'entre 16 et 19 heures. Le seul inconvénient du système serait de nécessiter des canalisations spéciales ou un fil de retour particulier analogue à celui de l'éclai-

Digitized by Google

rage public en usage dans certaines villes, il s'agit simplement de savoir si « le jeu en vaut la chandelle ». Cependant il nous semble que les stations centrales ont tout intérêt à vendre du courant de chauffage qui correspond à un facteur de puissance égal à l'unité.

A. Soulier.

Sur l'orthographe des mots techniques. — Dans la « *R. G. E.* » du 15 février 1919, t. v, page 242, notre collaborateur M. Pomey appelait l'attention sur l'orthographe des mots cathode et cation que l'on trouve interprétée de façons différentes suivant les ouvrages que l'on consulte.

Un de nos lecteurs nous envoie à ce sujet la note suivante.

« J'ai lu dans un des derniers numéros de votre revue une remarque de l'un de vos collaborateurs au sujet de l'orthographe des mots *cation* et du mot *cathode*.

« Permettez-moi à ce sujet une observation :

« Tout le monde est absolument d'accord pour écrire *anode* sans *h*, or ce mot dérive du même mot grec ὁδός que le terme cathode; d'où, en se conformant à l'usage qui nous impose anode, nous devons écrire également *catode*.

« On est alors sans excuse si on écrit *cathion*. »

Bibliographie : On the Lichtenberg Figures (Sur les figures de Lichtenberg), par P.-O. Pedersen [1] — Le but que s'est proposé l'auteur dans ce travail, dont la brochure actuelle ne constitue que la première partie, a été de rechercher les conditions dans lesquelles se forment les figures de Lichtenberg; de leur connaissance exacte, on pourra très probablement déduire une explication satisfaisante de l'ionisation des gaz.

Le premier chapitre est un historique de la question qui englobe la plupart des physiciens ayant étudié ce sujet soit par le procédé de la poudre soit en utilisant la plaque photographique. Dans l'index bibliographique ne figure pas le nom de Usaboro Yoshida qui a cependant obtenu des résultats intéressants et dont le travail a été analysé dans la « Revue générale de l'Electricité » du 24 août 1918, t. iv, p. 253.

Dans le chapitre II, on trouvera d'abord la description du dispositif expérimental; ce dernier diffère peu de celui que nous avons indiqué et auquel nous prions le lecteur de vouloir bien se reporter. Toutefois, O. Pedersen n'emploie qu'un éclateur disposé sur le trajet allant de l'un des pôles de la machine à influence à l'électrode A en contact avec la couche sensible; la plaque photographique P repose sur un disque métallique B qui est relié au deuxième rôle de la machine et à la terre. L'ensemble A, P, B constitue l'intervalle Lichtenberg. Pour obtenir des figures pures et simples, il faut que ce dernier soit soumis à une haute tension, brusque et instantanée. On obtient ainsi des figures positives et négatives nettement différenciées; mais si les constantes du circuit sont telles que la décharge soit oscillante, l'aspect reste le même pour les deux genres de figures.

Jusqu'ici nous sommes restés dans le domaine purement spéculatif; dans le chapitre III, l'auteur étudie les propriétés caractéristiques des figures de Lichtenberg. 1° Les figures négatives ont l'aspect d'un disque brillant, dont l'éclat cependant diminue progressivement vers le bord. En réalité, ce disque se résout en un certain nombre de traits ou rayons brillants, nets, régulièrement distribués et séparés par des lignes obscures de même épaisseur, visibles seulement sur les épreuves photographiques, mais qui n'apparaissent pas quand on expérimente avec de la poudre. La grandeur du rayon définit l'étendue de l'image. En plaçant l'intervalle Lichtenberg sous une cloche, on peut vérifier que la largeur des lignes noires est indépendante de la nature du gaz; pour un même gaz, elle augmente quand la pression diminue ou quand on augmente l'épaisseur d_0 du support de la couche sensible; l'étendue de l'image négative décroît aussi quand d_0 croît; enfin, entre la pression p du gaz et le rayon r de cette image, on a la relation $pr = \text{Cte}$, pour un même gaz; 2° les figures positives sont des troncs bien délimités sur lesquels se greffent des ramifications également nettes; celles-ci dépendent, à un haut degré, de la nature du gaz. Dans l'air et l'azote, on a constaté que le nombre de branches, par centimètre de tronc, est proportionnel à la pression; que le produit de la pression du gaz par la largeur du tronc est constant; que l'étendue de la figure croît avec l'épaisseur d_0 de la plaque P, alors que l'on a trouvé l'inverse pour les figures négatives. L'auteur étudie encore le rôle d'autres facteurs, tels que la longueur d'étincelle.

Dans le chapitre IV, il indique comment il a mesuré la vitesse des décharges positives et négatives et les résultats qu'il a obtenus dans des conditions très variées, de longueurs d'étincelles, de pression et d'épaisseur de plaque. Le fait expérimental le plus déconcertant, c'est qu'on a trouvé des vitesses positives jusqu'à trois fois plus grandes que les vitesses négatives; pourtant, dans le chapitre V, l'auteur échafaude une théorie dans laquelle il admet que les figures négatives résultent d'une ionisation par collision provoquée par des électrons qui s'échappent de l'électrode et que les figures positives sont produites par des particules positives émises également par l'électrode. Il avoue cependant qu'il reste encore bien des difficultés à résoudre pour arriver à une théorie acceptable.

Le chapitre VI est consacré à l'étude des figures positives dans différents gaz; la documentation sur ce sujet était, jusqu'ici, assez rare. Enfin, dans le VIIe et dernier chapitre, on trouvera une méthode pour la mesure d'intervalles de temps très courts; en l'espèce, il s'agissait de déterminer le retard apporté à la décharge par un éclateur ionisé.

En résumé, cette analyse à grands traits nous montre que nous disposons maintenant d'un procédé précis pour la reproduction photographique des figures de la décharge; que, des clichés, on a déduit plusieurs lois dont l'existence est bien établie, mais que les bases d'une théorie de ces phénomènes sont encore incertaines. — B. C.

Bibliographie : L'Index des Arts industriels. — Signalons à ceux de nos lecteurs que la documentation intéresse un périodique américain nouveau « The Industrial Arts Index » qui passe en revue les articles de plus de 80 journaux techniques, choisis parmi les meilleurs, et en donne des extraits sommaires ou les signale simplement. La classification est faite par lettre alphabétique dans chaque sujet. Ce périodique est édité par la Wilson Company, 958 à 964 University avenue, New-York City.

[1] 1 vol., 15 cm × 24 cm, de 76 pages, 72 figures et photographies, édité par Andr.-Fred. Host et Son, Copenhague. Prix, broché, 1,75 couronne (2,45 fr).

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Essai à puissance réduite des alternateurs

La prédétermination de l'excitation en charge d'un alternateur sur lequel on ne peut faire que des essais ne nécessitant que peu de puissance (courbe d'aimantation et courbe de court-circuit) est un problème qui se pose chaque jour dans les plateformes d'essais, sans qu'il ait reçu de solution satisfaisante. Dans cet article, l'auteur expose une méthoae qui lui a donné de bons résultats.

Généralisation des diagrammes de Potier et Blondel. Détermination directe de l'excitation en charge. — Rappelons brièvement le diagramme de Potier. Soit U la tension à obtenir avec un débit I, présentant un déphasage φ sur U (fig. 1); la force électromotrice OC à obtenir résulte des vecteurs $U = OA$,

$$AB = rI \text{ et } BC = l\omega I + L\omega I.$$

$l\omega$ réactance de dispersion de têtes de bobines et $L\omega$ réactance de dispersion d'encoches sont portés en tenant compte de leur phase respective.

Cette force électromotrice résultante nécessitera un

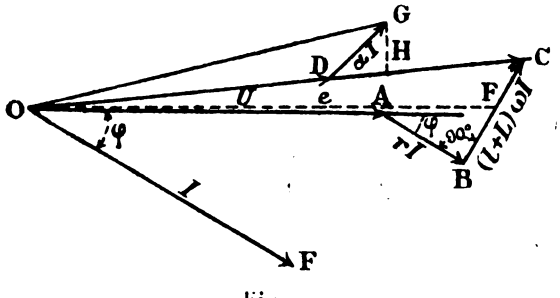


Fig. 1

certain flux émis par le pôle et, par suite, un certain nombre d'ampères-tours inducteurs donnés par la courbe à vide. Soient OD ces ampères-tours, il faut leur ajouter des ampères-tours représentés par $DG = \alpha I$ parallèle à BC et destinés à compenser la force magnétomotrice de l'induit. La résultante OG représente les ampères-tours en charge.

La détermination des vecteurs $(l + L)\omega I$ et de αI exige (méthode indiquée par M. Potier) la connaissance de la courbe à vide, de la courbe en court-circuit (qui est généralement une droite) et de la courbe (dite en courant réactif) de la tension aux bornes en fonction des ampères-tours d'excitation avec un débit I réactif.

Cette dernière courbe s'obtient soit en faisant débiter par l'alternateur le courant I sur des bobines de réactance à faible résistance ohmique, soit en faisant fonctionner l'alternateur en moteur synchrone à vide (sans couple résistant) surexcité ou sous excité. Ces essais présentent de sérieuses difficultés dans le cas de haute tension ou de basse tension à forte puissance. Ils exigent l'emploi de transformateurs, d'alternateurs, ou de sources de courant alternatif ayant sensiblement la même tension que l'alternateur à essayer. La composante active n'est en général plus négligeable, d'où exactitude fort contestable.

Nous allons voir qu'il est possible de déterminer d'une façon simple et précise les éléments du diagramme de Potier $(l + L)\omega I$ et αI à l'aide seulement de la courbe à vide et de l'essai en court-circuit. Nous verrons, d'autre part, que la méthode nous permettra de séparer les fuites provenant des têtes de bobines $(l\omega I)$, des fuites $(\omega L I)$ provenant des encoches et de connaître aussi le véritable état magnétique de l'armature d'induit.

La connaissance exacte du flux pénétrant dans l'armature est nécessaire pour la détermination des pertes dans le fer, quand on veut évaluer le rendement par la méthode des pertes séparées. Le flux dont il faut tenir compte pour l'évaluation de ces pertes est celui qui correspond à la force électromotrice e réellement induite dans les enroulements par le flux dans l'armature. Cette force électromotrice e est la résultante géométrique de $U = OA$, $rI = AB$ et $l\omega I = BF$, $l\omega I$ étant égale et de signe contraire à la force contre électromotrice induite dans les têtes de bobines par le flux traversant ces dernières. Ce flux est émis par le bobinage induit, il n'entoure que les têtes de bobines, tandis que le flux de dispersion d'encoche traverse l'armature, il se combine avec le flux émané du pôle pour donner un flux résultant qui engendre une force électromotrice $e = \frac{d\varphi}{dt}$ (voir à ce sujet l'étude de M. de Pistoye, « Lumière Electrique » du 30 novembre 1916).

La détermination de $l\omega I$ se fera facilement avec une approximation suffisante, dans l'essai en court-circuit

Digitized by Google

en bobinant sur les têtes de section composant une tête de bobine un enroulement auxiliaire longeant le fer et les têtes de section (fig. 2).

La figure 2 représente une bobine à deux sections droites, l'enroulement auxiliaire est indiqué en pointillé. On opérera de même sur une tête de bobines coudées, celles-ci ayant une longueur différente des précédentes et pouvant, par conséquent, émettre un flux différent. Si l'on choisit pour les bobines auxiliaires un nombre de spires égal au nombre de spires des bobines normales, il

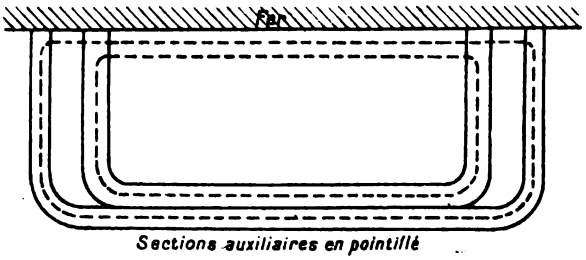


Fig. 2.

est évident que, dans l'essai en court-circuit, la tension mesurée aux extrémités de la bobine auxiliaire donnera la valeur du $l\,\omega\,I$. Il suffit, bien entendu, dans le cas d'un enroulement à pôles conséquents, de multiplier la tension fournie par une bobine auxiliaire (ou la moyenne des tensions d'une bobine droite et d'une bobine coudée) par deux fois le nombre de pôles pour avoir le $l\,\omega\,I$ correspondant à une phase complète (il y a en effet 2 têtes par bobine).

Dans le cas d'un enroulement par pôle et d'un nombre impair de trous par pôles et par phase, on aura des bobines à nombre pair de sections et des bobines à nombre impair de sections.

Il y aura trois nappes dans l'enroulement, il faudra évidemment autant de bobines auxiliaires qu'il y aura de sections de grandeurs et de formes différentes dans une phase. La mesure de la tension sera faite avec un appareil à faible consommation, la chute ohmique dans les spires auxiliaires pouvant ne pas être négligeable ; il sera d'ailleurs possible, dans tous les cas, de faire la correction.

Remarquons qu'à partir d'une certaine puissance les sections auxiliaires pourront ne comporter qu'une spire. Il suffira d'avoir un voltmètre donnant la déviation totale pour quelques volts. L'essai est alors excessivement simple et rapide. Ce relevé se faisant pendant le court-circuit a l'avantage de tenir compte de l'induction mutuelle des phases.

Supposons à présent, pour fixer les idées, que nous ayons un alternateur à un trou par pôle et par phase, les bobines ne comporteront qu'une section.

Bobinons en fil fin une section auxiliaire ayant un même nombre de spires qu'une section normale et de forme plate et rectangulaire (rectangle dont deux côtés égaux au pas polaire et les deux autres côtés légèrement plus grands que la largeur du fer induit). Plaçons cette galette dans l'entrefer le plus près possible du pôle, de façon que les deux côtés de longueur égale à celle du fer

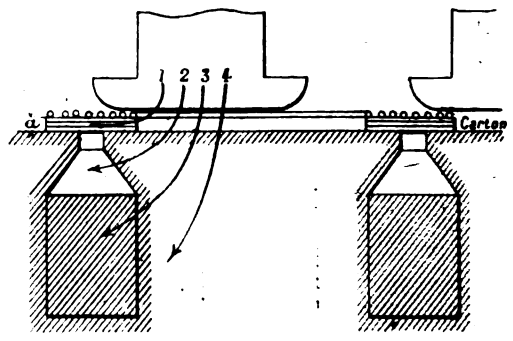


Fig. 3.

induit, soient respectivement en face des 2 encoches occupées par une section induite (fig. 3) et (fig. 4).

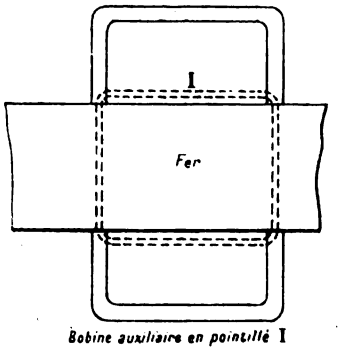


Fig. 4.

Cette bobine étant supposée presque au contact du pôle sera traversée par toutes les lignes de force émanées de ce pôle et pénétrant dans la section induite, telles que 4 (fig. 3) ainsi que par les lignes de fuites 1, 2, 3.

Soit φ le flux total pénétrant dans la section auxiliaire ; il est clair que, dans l'essai en court-circuit, ce flux induira dans la bobine auxiliaire une force électromotrice. E_{cc} qui serait également celle engendrée dans la bobine normale s'il n'y avait pas de fuites. Or la bobine d'essai I nous a permis de déterminer la force contre électromotrice $l\,\omega\,I$ due aux flux de tête de bobine.

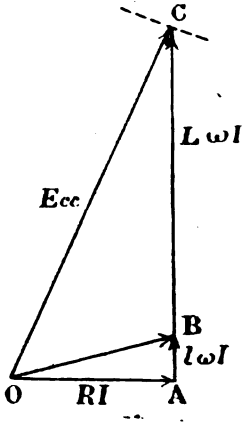


Fig. 5.

Nous pourrons construire le triangle OAB (fig. 5) dans lequel OA $= RI$ (R étant la résistance d'une phase et AB $= l\,\omega\,I$. Si de O comme centre avec un rayon

Digitized by Google

égal à E_{cc} on décrit un arc de cercle qui coupe AB, prolongé en C, BC sera le vecteur $L\omega I$ représentant les fuites d'encoches. L'essai tiendra compte aussi de l'induction mutuelle entre phases.

La bobine auxiliaire devra, comme dans le cas des têtes de bobines, comporter autant de sections qu'il y a de trous par pôle et par phase (fig. 6, cas de 2 trous par pôle et par phase).

Presque toujours le nombre de spires des sections auxiliaires pourra être réduit à un, ce qui permettra

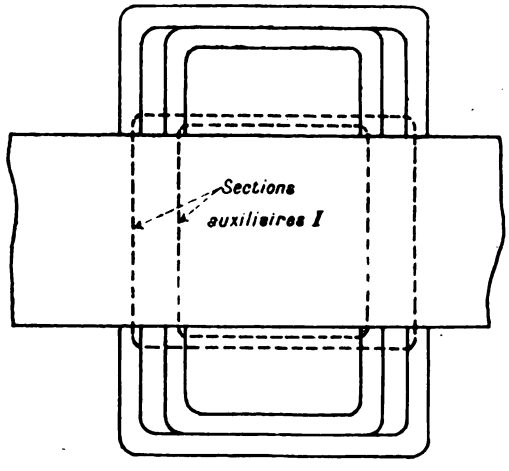


Fig. 6.

d'obtenir une plus grande précision dans la mesure du flux émané du pôle et une très grande rapidité d'exécution.

Nous signalons un dispositif pratique qui nous a donné toute satisfaction (fig. 3). Les spires auxiliaires sont préalablement collées à la gomme laque sur des bandes de presspahn ou carton qui sont à leur tour collées sur les encoches convenables — l'épaisseur a de la lame de carton est telle que les spires viennent effleurer la surface du pôle.

Remarque sur les fuites à vide.—Dans le cas d'une denture très saturée une certaine partie du flux s'échappe de la dent pour passer dans l'encoche. La méthode permet en comparant les tensions données par la bobine auxiliaire d'entrefer et la tension mesurée aux bornes de l'alternateur d'évaluer les fuites dues à la saturation.

M. Guilbert a indiqué, dans l'« Electrical World » du 3 décembre 1904, et l'« Eclairage électrique » du 11 février 1905, pour la détermination expérimentale de la dispersion d'encoches une méthode qui « consiste à employer 2 bobines auxiliaires enroulées, l'une spires à spires avec l'une des bobines de l'induit, et l'autre en sens contraire de la première, dans les mêmes encoches et voisines de l'entrefer et, si possible, même dans celui-ci ».

Ce procédé, bien que parfait théoriquement, ne nous paraît pas susceptible d'un emploi commode, en particulier dans le cas de la haute tension où il nuirait incontestablement au bon isolement intérieur des bobines.

Il a d'autre part l'inconvénient d'exiger le bobinage des spires auxiliaires en même temps que celui de l'enroulement normal, il est donc inapplicable aux machines existantes. Remarquons cependant que la méthode de M. Guilbert a l'avantage sur celle que nous préconisons de faire connaître la valeur du flux de fuite pour un débit quelconque sous une tension et un cosinus quelconque.

Application. — Nous avons appliqué la méthode à un alternateur triphasé 12 pôles — 3 000 v composés ; 234 kv-a, 46 a — 50 p : sec — deux trous par pôle et par phase bobinage par pôles conséquents : 2 nappes de bobines — une droite et une coudée. La bobine auxiliaire d'entrefer comportait deux sections de 20 spires chacune (soit le même nombre que les sections d'induit). Dans l'essai de court-circuit à la valeur normale, 46 a, du courant, la force électromotrice relevée sur la bobine auxiliaire d'entrefer a été de 29,5 v soit pour une phase complète $29{,}5 \times 6 = 177$ v. La chute ohmique donnant une composante négligeable, on peut admettre que : $177 = l\omega I$ têtes de bobines $+ L\omega I$ fuites d'encoches.

Les bobines auxiliaires sur têtes de bobines donnèrent une force électromotrice de 3,72 v pour les bobines coudées et 3,12 v pour les bobines droites, soit : pour une phase $(3{,}72 + 3{,}12) \times 3 \times 2 = 41$ v ; on tire, pour $L\omega I$, $L\omega I = 177 - 41 = 136$ v par phase.

Vérification. — A titre de vérification nous avons fait sur cet alternateur un essai en déwatté à 52 a (au lieu de 46) et 2900 v. La construction bien connue de Potier a donné

$$l\omega I + L\omega I = 182 \text{ v pour } 46 \text{ a}).$$

La concordance est donc pratiquement parfaite, il y aurait lieu d'ailleurs de faire la correction due à la chute ohmique dans la bobine auxiliaire.

Il est évident aussi que la méthode donne une légère erreur par défaut due : 1° à la largeur de la bobine d'entrefer que l'on a toujours intérêt à réduire à une spire ; 2° à ce qu'une partie du flux de fuite passe entre la bobine auxiliaire et le pôle en pénétrant peut être légèrement dans celui-ci. Dans l'essai en courant réactif (ou en court-circuit), ce flux peut avoir une certaine importance au moment du maximum du courant.

On peut se rendre compte de cette importance par une expérience bien simple.

Valeur du flux échappant a la bobine d'essai. — Conservons dans l'entrefer la bobine d'essai I et enroulons sur le pôle au-dessus des inducteurs, comme l'indique la figure 7, une bobine II comportant même nombre de spires que I, mais en opposition avec cette dernière. Calons le pôle de façon que son axe coïncide avec l'axe de la bobine d'essai et envoyons du courant alternatif dans la phase correspondant aux encoches A et B. Il est évident que la force électromotrice résultante des bobines I et II (en opposition) correspondra au flux b passant entre les bobines I et II.

Si ces dernières comportent autant de spires qu'une

Digitized by Google

section induite de l'alternateur, la force, électromotrice lue sera celle qui ajoutée à la lecture faite sur I dans l'essai en circuit représente le $(L\omega I + l\omega I)$ d'une section pour la position ci-dessus. Il y a lieu de remarquer que cette mesure ne tient pas compte de l'influence des autres phases. Elle donne néanmoins une idée du flux de dispersion non enregistré par la bobine d'essai

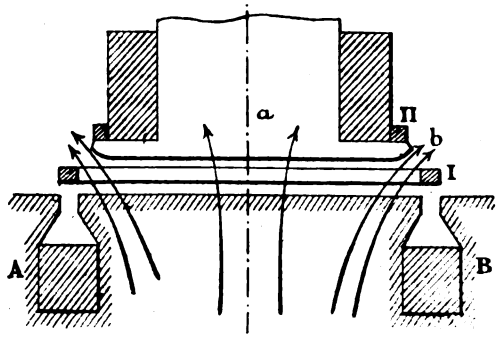


Fig. 7.

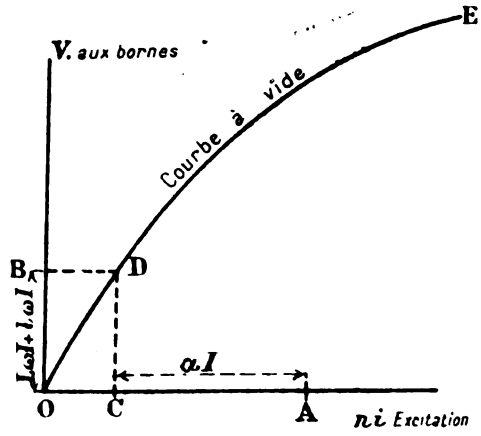
I, lorsque celle-ci occupe la position indiquée par la figure.

Dans le cas de l'alternateur précédemment étudié, la force électromotrice résultante mesurée était de 29,5 v pour une phase, soit une différence de $\frac{29,5}{1,80} = 16$ pour 100 environ sur le résultat donné par la bobine d'entrefer dans l'essai en court-circuit, mais cette valeur correspond à la position donnant le flux maximum. La moyenne est certainement moindre (1). Cette erreur de quelques centièmes sur un terme correctif n'a que peu d'influence sur le résultat final, d'autant plus qu'à une erreur en moins sur la chute inductive de tension correspond, dans la construction de Potier, une erreur en plus sur les ampères-tours de réaction.

Détermination des ampères tours de réaction. — Connaissant le point de court-circuit, la courbe à vide (à son origine au moins) et la chute inductive $(L\omega I + l\omega I)$ de tension, la solution est immédiate. Négligeons la chute ohmique; portons CD $= L\omega I + l\omega I$; OC représente les ampères-tours qui créent le flux correspondant à cette chute inductive. Si OA représente les ampères-tours suffisants pour obtenir le courant normal en court-circuit, CA est égal aux ampères-tours de réaction (figure 8).

Détermination exacte a l'aide du balistique ou du fluxmètre du flux échappant a la bobine d'entrefer. — La méthode ci-dessus ne constitue évidemment qu'un procédé grossier d'évaluation du flux (b) échappant à la bobine d'entrefer.

Nous savons, dans le cas d'un alternateur triphasé par exemple, que la réaction combinée des trois phases peut être assimilée à une force magnétomotrice à répartition sinusoïdale dans l'espace et constante dans le temps, l'axe du champ coïncidant avec l'axe du pôle dans le cas du courant déwatté (fig. 9 ; l'amplitude de la force magnétomotrice résultante étant égale à 1,5 fois environ l'amplitude de la force magnétomotrice alternative de chaque phase, le bobinage induit peut donc être remplacé au point de vue réaction, fuites, par un bobinage fictif à répartition sinusoïdale dans l'espace par-



Excitation correspondant au courant normal en court-circuit.

Fig. 8.

couru par du courant continu et fixe par rapport au pôle (fig. 9). L'erreur commise dans l'évaluation précédente du flux est donc due à deux causes principales : 1° les courants de Foucault induits dans les becs polaires par le flux variable dans le temps déforment certainement ce flux ; 2° on ne tient pas compte de l'influence des deux autres phases.

Il est préférable, pour se rapprocher de la réalité, d'envoyer dans l'induit du courant continu dont la coupure permettra une mesure facile du flux (b) en branchant un balistique ou un fluxmètre sur les extrémités des bobines auxiliaires I et II couplées en opposition.

Si l'on remarque (fig. 10) qu'au moment où le courant est maximum dans la phase 1, il a une valeur moitié dans les phases 2 et 3, on pourra facilement tenir compte de l'induction mutuelle en couplant les trois phases comme l'indique l'un des schémas des figures 11 ou 12, de façon que le courant continu étant i dans la phase I, soit $\frac{i}{2}$ dans les phases 2 et 3.

Il faut bien entendu respecter le sens convenable du courant dans les phases (fig. 11 et 12).

Remarque : I. — On pourra exciter les inducteurs et saturer, s'il y a lieu, le circuit magnétique pour se trouver dans les conditions de fonctionnement.

II. — Il est évident que, dans le cas du courant réactif, la phase 1 est celle dont l'axe des bobines est en

(1) Le flux b, ainsi mesuré, est composé, en grande partie d'ailleurs, par les fuites entre becs polaires.

Digitized by Google

coïncidence avec l'axe du pôle (dans le fonctionnement normal le courant est maximum dans une bobine au moment où l'axe de la bobine correspond à l'axe du champ tournant) (fig. 9).

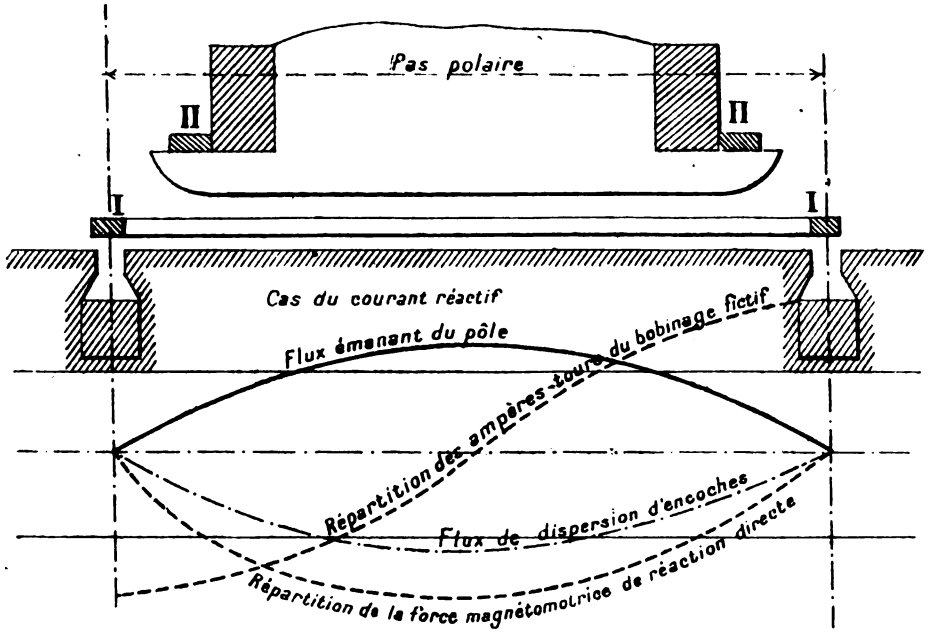


Fig. 9.

Généralisation de la méthode. — Application à la détermination des éléments du diagramme de M. Blondel.

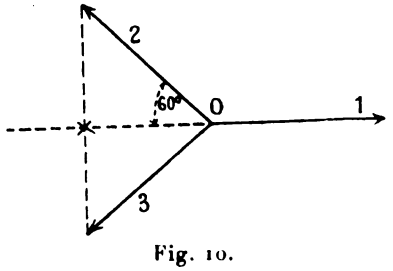


Fig. 10.

La méthode permet de relever le flux de dispersion pour un décalage quelconque du courant sur la force électromotrice.

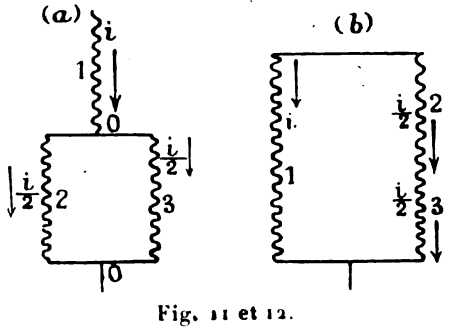


Fig. 11 et 12.

Il suffira de caler le pôle convenablement par rapport à l'axe de la bobine d'induit correspondant à la bobine d'essai.

Elle est applicable en particulier à la détermination du flux de réaction transversale entrant dans le diagramme de M Blondel.

Le schéma d'essai est celui donné par la figure 13.

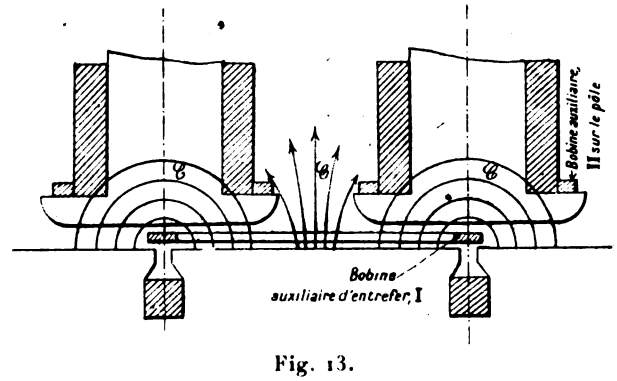


Fig. 13.

On voit que le flux transversal ne donnera lieu à aucune force électromotrice dans les bobines auxiliaires II s'il n'y a pas de dissymétrie entre les deux pôles. Le flux b sera donc entièrement enregistré par la bobine auxiliaire d'entrefer I. Les bobines II sur les pôles serviront à mesurer la variation du flux traversant les inducteurs (diminution de flux), variation due à l'action des ampères-tours transversaux qui saturent une moitié du pôle et désaturent l'autre moitié (voir les

Digitized by Google

études de Guilbert, « L'Eclairage électrique », t. XXXIV p. 413-414).

Le flux de dispersion passant dans l'intérieur des encoches et des têtes de bobines est donné par l'essai de court-circuit. Cette dispersion ne variant pas avec le décalage du courant sur la force électromotrice, nous sommes en possession de tous les éléments de construction du diagramme de M. Blondel.

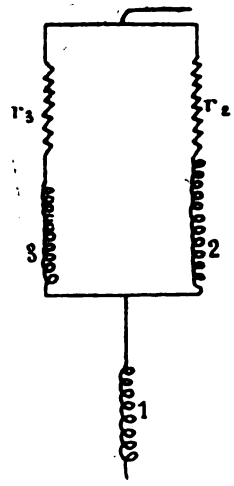


Fig. 14.

Remarque I. — Il est possible par des résistances r_2 et r_3 respectivement mises en série avec les phases 2 et 3 (fig. 14) de régler à volonté la répartition du courant continu dans les trois phases. Le relevé du flux de fuites et de réaction transversale pourra se faire à un instant quelconque de la période, en calant convenablement l'axe du pôle par rapport à l'axe de la bobine I. Il faudrait en toute rigueur relever un certain nombre de points équidistants dans la période, tracer la courbe correspondante soit de la valeur du $L\omega I$, soit du flux transversal (flux du courant actif) et prendre dans chaque cas le terme fondamental. Les figures 15-16-17 indiquent la position des vecteurs dans le cas : 1° du courant (fig. 15) maximum dans la phase 1 et moitié dans les phases 2 et 3 ; 2° du (fig. 16) courant nul dans la phase 1 et $\frac{i\sqrt{3}}{2}$ dans les phases 2 et 3 ; 3° à un instant (fig. 17) quelconque de la période ; les valeurs oa, ob et oc des courants dans les phases 1, 2 et 3 sont les projections des vecteurs OA, OB, OC.

Remarque II. — Il n'est pas nécessaire que les résistances de réglage r_2 et r_3 soient sans self-induction, il suffit qu'elles soient en dehors de l'alternateur ou plus exactement qu'elles ne présentent aucune induction mutuelle avec la phase 1.

Remarque III. — Les figures 18 et 19 montrent :

1° Que, dans le cas du montage étoile, le point (fig. 18) où le courant est maximum dans la phase 1 et moitié dans les phases 2 et 3 peut se relever sans qu'il soit nécessaire de modifier le couplage même avec neutre non accessible ; le courant I dans la phase I se répartit convenablement en grandeur et sens dans les phases 2 et 3. L'insertion de résistance peut d'ailleurs se faire facilement.

Le deuxième point singulier, courant nul dans la

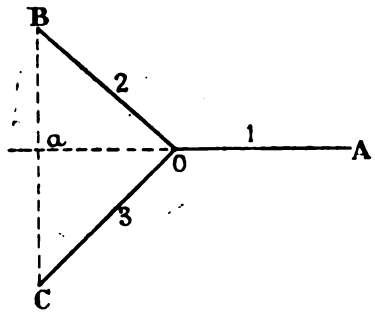


Fig. 15.

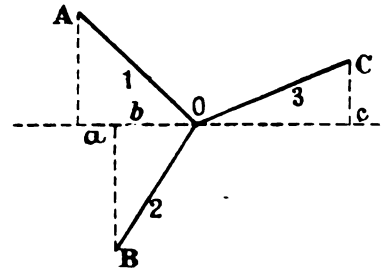


Fig. 16.

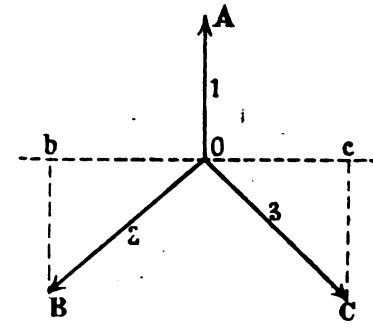


Fig. 17.

phase I et $\frac{i\sqrt{3}}{2}$ dans les phases 2 et 3 se relève aussi sans modification de couplage. Dans le cas du montage triangle (fig. 19), le premier point est obtenu également sans modification du bobinage. Le relevé du deuxième point et l'insertion de résistances exigent le dessoudage des extrémités A, B ou C.

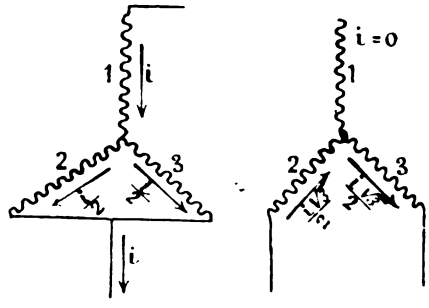


Fig. 18.

Remarque IV. — Il peut arriver, dans le cas d'un alternateur construit, que l'on ne connaisse pas le nombre

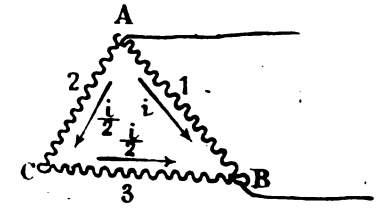


Fig. 19.

Digitized by Google

de spires du bobinage induit. Ce nombre de spires pourra se déterminer avec une très grande approximation pendant le tracé de la courbe à vide en comparant la tension aux bornes de l'alternateur et de la bobine (I) auxiliaire d'entrefer.

Dans le cas où cet entrefer a quelque importance, il est bon, pour tenir compte des franges, de mettre en série avec la bobine auxiliaire I d'entrefer la bobine auxiliaire qui a servi à la détermination du flux des têtes de section.

Remarque V. — Nous avons vu que les relevés pouvaient s'effectuer en se plaçant exactement dans les conditions de fonctionnement et en tenant compte ainsi de l'état de saturation du circuit magnétique. Il suffit pour cela d'exciter les inducteurs ; l'état magnétique correspondant à un fonctionnement donné n'étant pas connu, on procédera par approximations successives. Il sera facile, dans un premier essai et à l'aide d'un premier diagramme, de déterminer approximativement cet état magnétique.

Remarque VI. — Calage exact de l'inducteur par rapport à l'induit. L'exactitude du calage sera vérifiée électriquement ; il suffira, les inducteurs n'étant pas excités, d'alimenter l'induit ; la coupure où la variation du courant ne devra donner lieu à aucune force électromotrice dans la bobine auxiliaire II sur pôle. Le fluxmètre se prête particulièrement bien à cette vérification. Le calage étant quelconque, on envoie du courant dans l'induit. L'aiguille du fluxmètre, dont on a préalablement relevé la position initiale, dévie. Il suffira, en maintenant le courant constant dans l'induit, de décaler les inducteurs jusqu'à ce que l'aiguille revienne à son point de départ.

Lorsqu'on détermine le flux transversal avec inducteurs excités, il sera bon de fixer solidement la partie tournante pour éviter toute rotation de celle-ci qui tend à se mettre dans la position correspondant au courant réactif (fig. 9).

Il est nécessaire de vérifier le calage pendant le cours de la mesure, la moindre erreur, à peine perceptible à l'œil, pouvant fausser les résultats.

DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE DE L'EXCITATION EN CHARGE POUR UN DÉPHASAGE QUELCONQUE DU COURANT SUR LA TENSION AUX BORNES. — Considérons, par exemple, le cas du courant réactif; calons convenablement l'induit comme l'indique la figure 20, l'axe de la phase I coïncidant avec l'axe du pôle.

Excitons l'inducteur de façon à obtenir le flux correspondant à la force électromotrice à vide augmentée vectoriellement de la chute ohmique rI et du $l\,\omega\,i$ des têtes de bobines.

Branchons les extrémités de la bobine auxiliaire II (sur le pôle) aux bornes du fluxmètre et repérons la position initiale α_2 de l'aiguille. Les trois phases étant couplées, comme l'indique la figure 12, de façon qu'un courant continu d'intensité i dans la phase et $1\ -\frac{i}{2}$ dans les phases 2 et 3 reproduise exactement l'image de ce qui se passe en courant alternatif, l'aiguille aura une position α_2 quand le courant aura atteint cette valeur i.

Augmentons alors le courant d'excitation jusqu'à ce que l'aiguille du fluxmètre ait repris sa position initiale.

Soit I la valeur dont a augmenté le courant inducteur, le flux dans le pôle a repris sa valeur première.

Les ampères-tours inducteurs NI correspondant à cette valeur I équilibrent donc ceux de l'induit kni (N étant le nombre de spires d'un pôle, n celui d'une bobine induite et k un coefficient dépendant du nombre de phases, du nombre d'encoches, etc...) [1]. On aurait l'é-

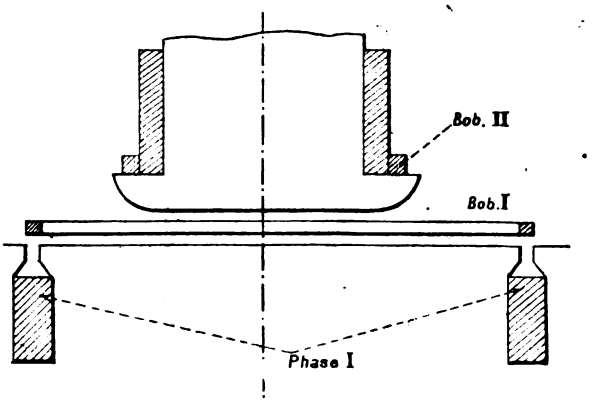


Fig. 20.

galité $NI = kni$, s'il n'y avait pas de fuites. En réalité, ces dernières ne sont pas négligeables. Dans le cas du courant déwatté, les lignes de force affectent sensiblement la forme indiquée par la figure 21, un certain nombre de lignes de force a sont communes à l'inducteur et à l'induit. Elles correspondent à une force magnétomotrice résultant de la force magnétomotrice inductrice et de la réaction d'induit ; les lignes de force b font partie de la dispersion extérieure d'encoches et sont proportionnelles aux ampères-tours induits.

Les lignes c constituent les fuites entre becs polaires ; elles sont proportionnelles à la différence de potentiel magnétique entre ces becs A et B. Cette différence de potentiel dépend elle-même de la réaction d'induit et de la force magnétomotrice nécessaire à l'établissement du flux a dans l'entrefer et dans l'induit. Il est clair alors que l'essai précédemment indiqué donne la valeur de l'excitation à ajouter à l'excitation à vide (correspondant à la force électromotrice à vide augmentée géométriquement de la chute ohmique et du $l\,\omega\,i$ de têtes de bobines) pour assurer un flux constant dans le pôle. Le flux a pénétrant dans l'induit, c'est-à-dire traversant la bobine I d'entrefer, diminue donc d'une quantité égale au flux b ajouté à la quantité dont augmente c.

Si nous répétons le même essai en branchant le fluxmètre aux extrémités de la bobine I d'entrefer, le supplément d'intensité inductrice pour ramener l'aiguille à

[1] GUILBERT. *L'Eclairage électrique*, mars 1903, p. 356.

Digitized by Google

sa position initiale, tiendra compte de l'apparition du flux b et de l'augmentation des fuites c. Elle représentera le supplément d'ampères-tours nécessaire pour maintenir le flux constant dans la bobine I d'entrefer.

Le flux utile dans l'induit est encore diminué du flux de dispersion intérieur d'encoches. Celui-ci a été, comme on l'a vu, déterminé par l'essai de court-circuit.

Si maintenant nous couplons aux bornes du fluxmètre une spire III enroulée autour de l'armature d'induit à égale distance des deux pôles, l'intensité inductrice ramenant l'aiguille au zéro sera celle correspondant à

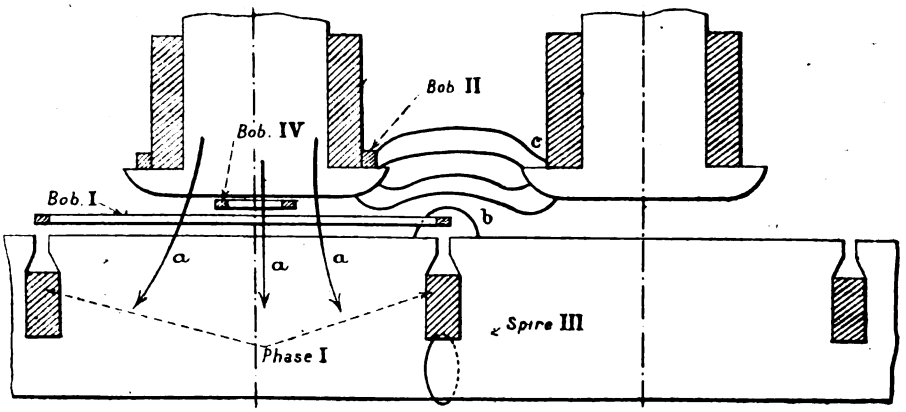


Fig. 21.

un flux utile constant dans l'armature pour un débit dewatté.

Elle tiendra compte des ampères-tours de réaction, du flux de dispersion d'encoche et du flux de fuite entre becs polaires.

Nous voyons donc que, de proche en proche, nous sommes arrivés par des essais simples et rapides à déterminer le supplément d'excitation nécessaire pour passer de la marche à vide à la marche en charge.

Cette détermination peut se faire en une seule opération en branchant immédiatement le fluxmètre sur la spire III.

Les diverses opérations indiquées permettront d'étudier l'influence du flux de dispersion interne d'encoches, du flux de dispersion b et de l'augmentation du flux de fuite c entre becs.

La détermination séparée de ces divers éléments pourra se faire facilement en couplant convenablement, en opposition ou en série, les bobines I, II, III.

Remarquons que le $l\omega i$ (fuites de têtes de bobines) peut se déterminer par le fluxmètre à l'aide des bobines auxiliaires sur têtes de bobines d'induit.

DÉTERMINATION DIRECTE DU RAPPORT DE TRANSFORMATION. — Coefficient α permettant de déterminer l'intensité inductrice l équivalente comme force magnétomotrice à un courant induit dewatté i.

L'inducteur n'étant pas excité plaçons dans l'entrefer une spire auxiliaire IV suffisamment petite pour n'être traversée que par des lignes de force a communes à l'induit et à l'inducteur. Calons l'induit dans la position du dewatté et envoyons dans cet induit couplé comme précédemment (fig. 12) un courant i dans la phase I (ce courant se répartit convenablement en grandeur et sens dans les phases 2 et 3) après avoir relevé la position de l'aiguille du fluxmètre connecté à la bobine IV. L'aiguille dévie jusqu'à ce que le courant ait atteint sa valeur i. Excitons l'inducteur jusqu'à une valeur I qui ramène l'aiguille à sa position initiale. Cette valeur I représente exactement l'excitation inductrice donnant la réaction directe correspondant à un courant i en des ampères-tours équivalents aux ampères-tours en quadrature dans l'induit.

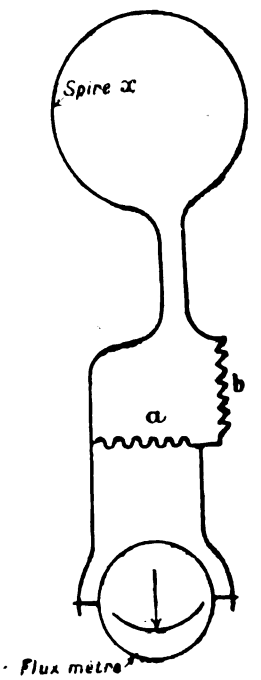


Fig. 22.

On pourra donc déterminer directement tous les éléments soit du diagramme de Potier, soit du diagramme de Blondel, *ou mieux encore en un seul essai, l'excitation en charge*, comme nous le verrons plus loin.

Si l'on remarque que la courbe à vide peut être tracée avec une approximation suffisante en branchant le fluxmètre sur la bobine d'entrefer I, la recherche de l'excitation en charge peut être faite *la machine restant au repos et à l'aide du courant continu seul.*

Remarque I. — Dans le cas de grosses unités, l'emploi du fluxmètre est particulièrement avantageux, car il n'exige pas la rupture brusque du courant continu employé, lequel peut avoir une certaine importance. L'appareil indique fidèlement les variations de flux quelle que soit leur lenteur.

Digitized by Google

Remarque II. — Il est bien évident que, dans tous les essais précédents, la valeur du courant i envoyé dans l'induit doit être égale à la valeur maximum de l'intensité alternative considérée dans l'alternateur. (Voir note finale.)

Remarque III. — Il est bon de remarquer que, dans la recherche directe du courant d'excitation et la détermination du rapport α, le fluxmètre intervient comme appareil de zéro et que sa précision n'entre pas en jeu.

Remarque IV. — Dans le cas où le fluxmètre sert à déterminer un flux (courbe à vide, recherche du $l\omega i$, et flux de réaction transversale) important, la sensibilité peut être réduite en shuntant l'appareil (fig. 22), par une résistance a et en mettant une résistance b en série avec la spire.

Si x est la résistance de cette spire, la lecture du fluxmètre est à multiplier par le rapport $\frac{a+b+x}{a}$.

Remarque V. — La méthode peut avantageusement être employée dans les machines à courant continu pour étudier l'effet des réactions directe et transversale.

(*A suivre.*)

TOGNA,
Ingénieur A. et M. et E. S. E.

Sur les machines à haute fréquence et leur réglage [1]

L'auteur complète un précédent travail d'ensemble, en précisant les conditions de marche des machines à haute fréquence, notamment en ce qui concerne les réglages électriques, les variations de vitesse, et le couplage de plusieurs alternateurs.

Mon intention n'est pas de présenter quelques observations au sujet de l'intéressante conférence de M. Latour [2]; je désire seulement profiter de la circonstance pour vous faire connaître les notes suivantes qui forment un complément technique de ma conférence de 1914.

I. — Théorie approchée de la mise en résonance. — Comme on le sait, les machines à haute fréquence ne peuvent donner leur charge normale que si la réactance des circuits est levée au moyen de capacités dûment réglées. Dans ces conditions, il peut être utile de se rendre compte de l'influence de cette mise en résonance sur le fonctionnement de l'alternateur même; nous diviserons, à ce point de vue, les alternateurs en trois classes :

A. *Machines non saturées produisant directement la haute fréquence.* — Pour tenir compte de l'effet de la réaction d'induit de ces alternateurs, on a coutume, généralement, de l'assimiler à celui d'une inductance supplémentaire (méthode de Joubert et diagramme de Behn-Eschenburg). Cette assimilation n'est légitime que si la réluctance est constante, quelle que soit la position des pôles inducteurs par rapport aux bobines induites; dans le cas général, il y a lieu d'appliquer la théorie des deux réactions de M. A. Blondel.

J'ai publié jadis (voir La « Lumière électrique » du 25 décembre 1909, p. 395) un diagramme dérivé de cette théorie, et applicable directement aux alternateurs non saturés débitant sur un système comportant des capacités; je rappellerai brièvement la construction très simple à laquelle on aboutit (fig. 1).

On porte en $\overline{AB}$ une longueur mesurant la somme $R + r$ de la résistance ohmique d'utilisation et de celle de l'induit de l'alternateur; puis on prend sur la perpendiculaire élevée en B des longueurs $\overline{BC}$, égale à la somme $X + s$ des réactances *apparentes* du circuit de charge et de celle représentant l'effet des fuites (X peut naturellement être négatif, s'il y a des capacités en jeu), et CF égale à la réactance $\overline{\lambda'\omega}$ représentant l'effet de la réaction transversale. Enfin, on prend $\overline{FG}$ égal à la différence $(\lambda - \lambda')\omega$ entre le coefficient de réaction directe et celui de la réaction transversale, généralement $\lambda > \lambda'$,

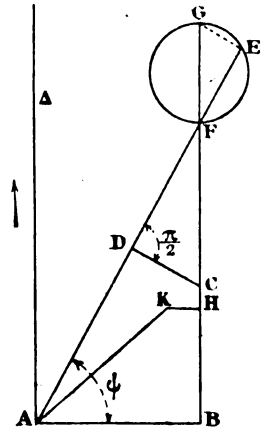


Fig. 1.

(1) Communication présentée à la séance du 5 mars 1919 de la Société française des Electriciens. *Bulletin de la Société française des Electriciens*, mars 1919, t. IX, 3e série, p. 161.

(2) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, février 1919, t. IX, 3e série, p. 97-115, et *R. G. E.*, 12 avril 1919, t. V, p. 557-564.

Digitized by Google

mais la construction serait facile à étendre au cas contraire). Cela fait, sur FG comme diamètre on décrit un cercle, et l'on tire AF; la longueur AE mesure le quotient $\frac{E}{I}$ de la force électromotrice à vide E par le courant correspondant aux valeurs choisies pour R et X. Supposons d'abord, en effet, que les circuits magnétiques ne soient pas saturés, et abaissons la perpendiculaire CD sur AE; si ψ désigne l'angle BAE, on peut écrire

$$\begin{aligned}\overline{DE} &= \overline{DF} + \overline{FE} \\ &= \lambda'\omega \sin\psi + (\lambda - \lambda')\,\omega \sin\psi = \lambda\omega \sin\psi.\end{aligned}$$

En multipliant donc par I toutes les lignes de la figure, on reconnaît en ABCDEA le polygone de Blondel dans le cas d'une machine non saturée.

Le diagramme de la figure 1 permet aisément de se rendre compte de l'effet produit par une variation de la réactance apparente X des appareils alimentés par l'alternateur; en effet, si X varie seul, le lieu du point A est la droite Δ parallèle à BG, et le lieu du point E est le cercle de diamètre FG. On peut donc suivre, pour une excitation donnée, les variations de I en fonction de X. Du diagramme, on tire d'ailleurs de suite la relation

$$\frac{E}{I} = \frac{(R+r)}{\cos\psi} + (\lambda - \lambda')\,\omega \sin\psi,$$

de telle sorte qu'en fonction de la variable auxiliaire ψ le maximum de I a lieu pour

$$(1)\qquad \begin{cases} \dfrac{\sin\psi}{\cos^3\psi} = -y, \\ \text{avec} \\ y = \dfrac{(\lambda - \lambda')\,\omega}{R+r}. \end{cases}$$

Comme en outre

$$\operatorname{tang}\psi = \frac{X + s + \lambda'\omega}{R+r},$$

rien n'est plus facile que de déterminer la valeur optimum pour X, en s'aidant de la courbe $y = f(\psi)$ tracée une fois pour toutes. Comme il fallait s'y attendre, quand $\lambda' = \lambda$, le maximum de (1) a lieu pour $\psi = 0$; mais, en général, l'angle ψ défini par les formules (1) sera fini et *négatif*, de telle sorte qu'en réalité, *lorsqu'un alternateur travaille à la résonance sur un circuit comportant des capacités, le déphasage interne ψ entre la force électromotrice à vide et le courant débité n'est pas nul, le courant se trouvant en avance sur la force électromotrice en question.*

Un cas particulier intéressant est celui où le cercle coupe la droite Δ (fig. 1). Aux points d'intersection, le segment AE, c'est-à-dire $\frac{E}{I}$ devient théoriquement nul; il y a alors *auto-amorçage*, le courant I pouvant être fini même si la force électromotrice E est nulle. C'est le phénomène de Rayleigh-Boucherot rappelé déjà dans notre précédente étude (*loc. cit.*). La condition d'auto-amorçage s'écrit donc

$$\frac{(\lambda - \lambda')\,\omega}{2} > R + r.$$

Enfin, notons en passant que si l'on mène à la distance BH $= X$ le segment $\overline{HK}$ égal à r et parallèle à AB, et si l'on joint AK, cette longueur est la résultante géométrique de R et de X, donc mesure le quotient $\frac{U}{I}$ de la tension aux bornes de l'alternateur par le courant débité. La *surtension* existant à ces bornes, par suite de la mise en résonance, peut ainsi être évaluée facilement. D'ailleurs, le diagramme en question peut être utilisé avantageusement dans l'étude des machines à fréquence usuelle, lorsque notamment la saturation est très élevée (1); nous reviendrons ultérieurement sur ce point dans une étude spéciale consacrée aux alternateurs et aux moteurs synchrones normaux (2).

En tout cas, ce diagramme s'applique aux alternateurs à pôles alternés faisant partie d'un couplage en cascade, ainsi qu'aux machines homopolaires à réluctance variable préconisées par M. Latour, aussi longtemps que la saturation n'atteint pas les valeurs usitées avec les machines homopolaires normales (voir la catégorie B).

B. *Machines homopolaires à forte saturation.* — C'est surtout le cas des machines homopolaires dérivées du type classique (machines à disque, à utilisation partielle de la périphérie, etc.). Comme l'a rappelé M. Latour, la force électromotrice E d'une semblable machine passe par un maximum pour une valeur donnée de l'excitation. La prédétermination de la courbe des E en fonction de l'excitation est d'ailleurs assez facile au moyen du tracé préliminaire de quelques caractéristiques partielles, et l'effacement des pôles inducteurs, lorsque les ampère-tours inducteurs dépassent une certaine limite, est alors mis en évidence de la façon la plus indiscutable.

Naturellement, avec de semblables machines, le diagramme de la figure 1 doit être remplacé par un diagramme plus complexe, inspiré des derniers travaux de M. A. Blondel, de manière à tenir compte de l'influence du débit I sur le degré de saturation du circuit magnétique.

Toutefois, si l'on fonctionne avec un déphasage interne ψ nul (ou au moins très petit), la réaction directe en $I \sin\psi$ disparaît et la réaction transversale, qui devient égale à $\lambda'\omega I$, peut être considérée encore comme proportionnelle à I, surtout si la réluctance transversale comporte un entrefer très accusé. En d'autres

(1) Léauté. *Bulletin de la Société internationale des Electriciens*, avril 1918, p. 151 et suiv.

(2) Si la saturation est très élevée, on peut remplacer la portion utilisée de la caractéristique à vide par une droite (ne passant pas naturellement par l'origine) et la construction reste encore valable, les coefficients λ et λ' étant modifiés en conséquence.

Digitized by Google

termes, *à la résonance*, on peut appliquer pratiquement le diagramme de Joubert-Behn-Eschenburg, à condition de prendre comme réactance totale apparente de la machine la réactance *transversale* $\lambda'\omega$ [*cf.* mon étude précitée de 1909, p. 397, formules (3), (4), (3')]. Dans ces conditions, on peut aisément, pour le réglage particulier considéré ($X + s + \lambda'\omega = 0$), prédéterminer le débit I en fonction du courant d'excitation, en utilisant la caractéristique à vide, et en traçant le diagramme en question. D'ailleurs l'expérience paraît justifier cette manière de voir.

C. *Machines en cascade fonctionnant en convertisseurs de fréquence.* — Dans notre Conférence de 1914, nous avons déjà développé quelques considérations au sujet du fonctionnement de ces machines. Nous allons traiter ici sommairement le cas simple de mise en résonance où l'on a affaire à un alternateur couplé avec un convertisseur de fréquence, celui-ci débitant sur une antenne. Conservant nos précédentes notations (cf. « Bulletin de la Société internationale des Électriciens », juin 1914, p. 598 et suiv.), d'ailleurs évidentes [1], on peut écrire symboliquement ($j = \sqrt{-1}$)

$$(2)\qquad \begin{cases} E = R_1 I_1 + L_1\Omega_1 I_1 j - \dfrac{1}{C_1\Omega_1} I_1 j + M\Omega_1 I_2 j, \\ 0 = R_2 I_2 + L_2\Omega_2 I_2 j - \dfrac{1}{C_2\Omega_2} I_2 j + M\Omega_2 I_1 j. \end{cases}$$

Multiplions tous les termes de la seconde égalité par le rapport $\frac{\Omega_1}{\Omega_2}$ des fréquences primaire et secondaire ; le terme en I_1 ayant alors le même facteur $M\Omega_1$ que celui en I_2 de la première des égalités (2), tout se passe comme si l'on avait affaire à l'ensemble constitué par un alternateur de fréquence $\frac{\Omega_1}{2\pi}$ alimentant un simple transformateur *statique* dont le circuit secondaire possède les constantes

$$R_2\frac{\Omega_1}{\Omega_2},\quad L_2,\quad \frac{1}{C_2}\frac{\Omega_1^2}{\Omega_2^2},\quad M.$$

On peut donc appliquer immédiatement les calculs et formules développés dans une précédente note (*cf.* J. Bethenod : « Sur le réglage des postes radiotélégraphiques à ondes entretenues produites par machine à haute fréquence » « La Lumière électrique », 2 oct. 1915, p. 3).

En particulier, on conclut qu'au point de vue de la puissance maximum, il est encore indifférent de supprimer le condensateur ($C_1 = \infty$), ou d'accorder isolément les circuits (ici $\Omega^2_1 L_1 C_1 = 1$ et $\Omega^2_2 L_2 C_2 = 1$). Toutefois, le deuxième réglage conduit à une moindre tension aux bornes primaires du convertisseur de fréquence, et, par conséquent, fait travailler son fer à une induction plus faible ; par contre, il est évidemment notablement plus délicat et, dans le cas de plusieurs mises en cascade successives, nécessite l'usage de bagues pour intercaler des condensateurs dans les circuits rotoriques. (Ainsi que nos collègues pourront le vérifier, la théorie qui vient d'être esquissée s'étend assez facilement au cas où l'on emploie plusieurs convertisseurs.)

II. — **Régime du rendement optimum.** — Ainsi que l'a fait remarquer fort judicieusement M. Latour, le rendement global d'une machine à haute fréquence croît indéfiniment avec le courant d'excitation i aussi longtemps que la force électromotrice E augmente avec ce courant. En effet, dans une machine à haute fréquence du type homopolaire, par exemple, on se trouve en présence des pertes suivantes :

1° Des pertes F sensiblement indépendantes de la charge : pertes mécaniques par frottement, ventilation, etc. ;

2° Des pertes W_0 dues à la variation du flux inducteur, créant E, dans les tôles constituant le noyau induit ; ces pertes sont pratiquement proportionnelles à E^2 [1] ;

3° Des pertes ω dans les enroulements d'excitation ;

4° Des pertes dans le fer du noyau induit, correspondant au flux de réaction produit par le débit I ; ces pertes se traduisent en première approximation par une augmentation de la résistance ohmique apparente des circuits induits ;

5° Des pertes W_2 créées par le même flux dans le fer tournant du rotor ; ces pertes peuvent être décomposées comme suit :

Supposons d'abord que le rotor se présente sous la forme d'un disque ou tambour *non denté*, et faisons circuler le courant de haute fréquence I dans les enroulements statoriques. On se trouve alors en présence d'un véritable moteur monophasé d'induction avec rotor tournant au synchronisme [2], et les pertes par courants de Foucault et hystérésis dans ce rotor sont dues au flux tournant en sens inverse, flux dont la vitesse *relative* est donc double de la vitesse de rotation. Il est facile, dans ces conditions, d'entrevoir le mécanisme suivant lequel les pertes W_2 sont prélevées en partie sous forme électrique fournie par le stator.

En effet, d'après le principe fondamental des moteurs d'induction, ces pertes créent en premier lieu un couple résistant C défini par l'égalité

$$(3)\qquad C\frac{2\Omega}{p} = W_2,$$

p étant le nombre de paires de pôles du système.

[1] Bien entendu, les constantes R_1, R_2, L_1, L_2, etc. se réfèrent respectivement à l'*ensemble* des appareils compris dans chacun des circuits primaire et secondaire. Par exemple, R_1 comprend la résistance ohmique de l'alternateur de force électromotrice E; R_2 celle de l'antenne, etc.

[1] Cette hypothèse, évidemment légitime pour les pertes par courants de Foucault, peut être étendue aux pertes par hystérésis, eu égard à l'incertitude relative à l'exposant à adopter pour l'induction dans la formule empirique permettant d'évaluer les pertes en question. Cf. M. Latour, « Remarque sur les pertes dans le fer par hystérésis ». *Revue générale de l'Electricité*, 13 juillet 1918, p. 36).

[2] La cage d'écureuil fictive étant constituée par les circuits élémentaires, sièges des courants parasites.

Digitized by Google

A ce couple correspond une puissance mécanique $C \times \frac{\Omega}{p}$, c'est-à-dire moitié des pertes W_2 dans le rotor; on en conclut que l'autre moitié est fournie électriquement par le stator. Si l'on admet en outre que les pertes sont proportionnelles au carré du flux de réaction, c'est-à-dire à I^2, cette dernière moitié s'ajoutera aux pertes définies sous 4° pour porter la résistance ohmique apparente des circuits induits à une certaine valeur r. Quant à la puissance mécanique prélevée sur l'arbre par le couple C, elle sera aussi de la forme ρI^2, en fonction du débit I. Le rendement vaut ainsi

$$(4) \qquad \eta = \frac{EI - rI^2}{EI + F + W_0 + \omega + \rho I^2}.$$

Si donc on fait croître E, le débit I augmentera proportionnellement et puisque W_0 varie comme E^2, tandis que F est constant, le rendement suit bien la loi énoncée par M. Latour (ω croît en fait plus vite que E^2, eu égard à la saturation, mais se trouve pratiquement négligeable). Naturellement, le rotor est denté en réalité et les considérations ci-dessus sur W_2 doivent être modifiées en conséquence, mais tout revient à changer la valeur des coefficients r et ρ.

Avec une machine homopolaire, lorsqu'on atteint le maximum de force électromotrice E (voir plus haut), le raisonnement précédent ne s'applique plus et considérant alors E comme constant, il peut être intéressant de rechercher le débit I correspondant au rendement optimum. En fonction de I, l'expression (4) est maximum pour

$$(5) \qquad (F + W_0 + \omega)\frac{E - 2rI}{E} = (\rho + r)I^2.$$

Cette condition est susceptible d'être traduite en langage ordinaire. En effet, $2rI$ est d'ordinaire très faible vis-à-vis de E et l'on peut admettre que le second facteur du premier membre est sensiblement égal à l'unité; si l'on ajoute alors W_0 aux deux membres, on aboutit à la règle suivante :

Avec un alternateur homopolaire à haute fréquence, fortement saturé et réglé à la résonance, le maximum de rendement est obtenu, en fonction du débit, quand la somme des pertes par effet Joule apparent et des pertes dans le fer en charge est sensiblement égale au double des pertes dans le fer à vide, augmenté des pertes mécaniques et des pertes dans l'enroulement d'excitation.

Si, dans l'expression de r, on connaît la part due à l'effet Joule réel (d'ailleurs comparativement très peu importante, en général), cette loi permet d'évaluer les pertes en charge dans le fer, par le tracé de la courbe des rendements.

III. — **Régulation de la vitesse.** — Stabilité des régimes. — En raison même du réglage à la résonance, il est évident que la vitesse d'un alternateur à haute fréquence doit être maintenue aussi rigoureusement constante que possible, malgré les variations de charge dues à la manipulation; d'ailleurs, même en adoptant, ainsi qu'on le verra plus loin, un dispositif pour maintenir automatiquement le réglage à la résonance en cas de légère variation de vitesse, cette variation ne passe pas inaperçue au poste récepteur, accordé lui-même sur une fréquence bien déterminée et comportant en outre généralement une réception par battements (hétérodyne) très sensible aux variations de fréquence.

Une solution radicale consiste à disposer sur le même arbre que la machine à haute fréquence une génératrice de même puissance et de type quelconque, à courant continu, ou monophasé, ou polyphasé (voir même un frein électromagnétique à courants de Foucault) et à mettre automatiquement en charge cette machine auxiliaire chaque fois que l'alternateur est déchargé, le couple résistant demandé au moteur demeure ainsi constant, si les circuits sur lesquels on manipule sont suffisamment amortis.

On peut d'ailleurs se servir d'un contacteur unique pour opérer le transfert de la charge, en agissant sur les circuits d'excitation comme l'a proposé M. Latour, ou même sur les circuits principaux comme je l'ai envisagé ultérieurement; le contacteur unique court-circuite alors l'alternateur sur lui-même en même temps qu'il ferme le circuit de charge de la machine auxiliaire, le triage des courants s'opérant facilement par des effets de résonance, de façon à éviter tout débit d'une des deux machines dans l'autre.

Cette solution radicale offre l'inconvénient de nécessiter un matériel coûteux et assez compliqué; en outre, et surtout, la charge du moteur demeure en permanence et, par conséquent, il en résulte une dépense d'énergie élevée. Il est à noter que le même défaut existe dans les installations radiotélégraphiques employant un arc type Poulsen pour la production d'ondes non amorties; pendant la manipulation, la puissance débitée par la génératrice à courant continu demeure sensiblement la même qu'en émission permanente (trait continu), les signaux étant produits par un changement de longueur d'onde ou par l'usage d'un circuit oscillant, équivalent à l'antenne, que l'on alimente par l'arc pendant les intervalles entre signaux. Au contraire, si l'on dispose d'un dispositif permettant de conserver une vitesse constante quelle que soit la charge du moteur, la puissance moyenne en manipulation demeure bien inférieure à celle exigée par une émission permanente; le rendement de l'installation est considérablement augmenté de ce fait, à égalité d'intensité des signaux.

Un second procédé pour atteindre la constance de vitesse désirée a été utilisé dans les postes munis de machines à haute fréquence système Goldschmidt; l'alternateur est entraîné par un moteur à courant continu dont l'excitation est réglée de manière à avoir à vide la fréquence voulue; lorsqu'on veut émettre un signal, en fermant l'excitation de l'alternateur par le manipulateur (les machines Goldschmidt ont un inducteur à faible constante de temps permettant ce mode de manipula-

Digitized by Google

tion), on insère du même coup une résistance appropriée dans le circuit d'excitation du moteur à courant continu. Ceci a pour effet de maintenir à pleine charge la vitesse qui existe à vide; lorsqu'on manipule, le courant d'excitation prend évidemment une valeur moyenne entre ses deux valeurs extrêmes, à vide et à pleine charge, et l'on peut admettre que la vitesse conserve encore sensiblement la même valeur. Bien entendu, on peut étendre cette solution approchée au cas où l'on manipule sur le courant à haute fréquence, mais l'expérience nous a paru montrer qu'elle n'est admissible qu'avec des machines de puissance moderée; sa simplicité est alors une qualité primordiale.

Une solution plus parfaite consiste à munir le groupe d'un régulateur de vitesse aussi sensible que possible. Dans cet ordre d'idées, le meilleur appareil est certainement celui créé jadis par Marcel Deprez (voir « La Lumière électrique » du 15 juin 1879, p. 50); primitivement il était réservé aux faibles puissances et consistait en principe à faire agir un régulateur centrifuge sensible sur un interrupteur coupant le courant d'alimentation du moteur à courant continu, dès que la vitesse s'écartait au-dessus d'une valeur fixée et le rétablissant dès qu'elle s'abaissait au-dessous d'une certaine valeur, d'ailleurs très voisine de la première. On obtenait ainsi une série d'oscillations imperceptibles de la vitesse entre des limites très restreintes, par un mécanisme analogue à celui des régulateurs de tension du type dit *vibrant*. La précision réalisée est telle que M. Thury a pu voir « L'Eclairage électrique » du 16 février 1901, p. 245) réaliser une horloge-mère en combinant un semblable régulateur avec une commutatrice inversée alimentant de petits moteurs synchrones placés dans les horloges réceptrices. Notre éminent collègue a d'ailleurs appliqué le même principe aux moteurs de grande puissance, en faisant agir un régulateur aussi isochrone que possible sur un interrupteur placé aux bornes d'un rhéostat intercalé dans le circuit d'excitation de ces moteurs. A notre avis, c'est la solution idéale du problème posé.

D'autres dispositifs ont pourtant été proposés; par exemple, Fessenden compare la vitesse du groupe à celle d'un appareil tournant à une vitesse rigoureusement constante (par exemple, roue phonique de Lacour contrôlée par un diapason entretenu), et fait agir la différence sur un organe de régulation, au moyen d'un différentiel mécanique ou dispositif analogue. Au lieu de comparer des vitesses, on peut aussi comparer la fréquence de la machine à celle d'un générateur à fréquence constante (générateur à lampes avec trois électrodes, par exemple); on peut utiliser directement le glissement ainsi observé au moyen d'un appareil à champ tournant, comme proposé par la Société Marconi, ou créer des battements agissant sur un fréquencemètre (solution préconisée par M. Billieux).

Mais tout ceci n'offre en réalité aucun avantage sur la simple comparaison d'une tension constante et d'une tension produite par une petite génératrice couplée mécaniquement avec la machine à haute fréquence et indépendamment de sa grande simplicité, la solution réalisée par M. Thury écarte tout danger d'oscillations de vitesse à longue période, même lorsque le degré de régulation à atteindre est extrême.

Pour terminer cet exposé, nous signalerons le système de la Société Lorenz (brevet allemand 237 264 et addition). Le circuit principal à haute fréquence agit, au moyen de couplage direct ou par induction, sur deux circuits oscillants dont les périodes d'oscillation propre diffèrent très peu de la fréquence normale, l'une par excès, l'autre par défaut. En soumettant l'organe de réglage à l'action différentielle de deux électrodynamomètres placés chacun dans l'un des circuits oscillants auxiliaires, on peut évidemment maintenir la fréquence de la machine dans des limites déterminées. Mais nous ne croyons pas que ce système, d'ailleurs assez compliqué en pratique, présente quelque avantage sur le régulateur Deprez-Thury, adopté par la Société Française Radioélectrique.

Il est intéressant de se faire une idée de l'influence des diverses constantes d'une installation avec alternateur à haute fréquence sur l'importance de la variation de débit entraînée par une variation de vitesse donnée. Nous traiterons ici le cas d'un alternateur couplé à une antenne par l'intermédiaire d'un simple transformateur, le circuit primaire ne comportant pas de condensateurs; après essais comparatifs, c'est le montage adopté normalement par la Société française Radioélectrique. On désigne par :

E, la force électromotrice à vide de l'alternateur à haute fréquence;

R_1 et L_1, la résistance ohmique apparente et la réactance du circuit primaire complet (L_1 tient compte ici, en première approximation, de la réaction d'induit de l'alternateur);

R_2 et L_2, les constantes correspondantes du circuit secondaire complet (R_2 comprend donc la résistance ohmique apparente de l'antenne);

C_2, la capacité de l'antenne;

M, le coefficient d'induction mutuelle entre les deux circuits.

Les formules classiques du transformateur théorique à courant alternatif montrent que tout se passe, au point de vue de l'alternateur, comme si l'on avait affaire à un circuit unique dont la résistance ohmique totale est

$$(6) \qquad R = R_1 + \frac{M^2\omega^2}{R_2^2 + \left(L_2\omega - \frac{1}{C_2\omega}\right)^2} R_2,$$

ω étant la pulsation, et dont la réactance apparente vaut

$$(7) \qquad X = L_1\omega - \frac{M^2\omega^2}{R_2^2 + \left(L_2\omega - \frac{1}{C_2\omega}\right)^2} \left(L_2\omega - \frac{1}{C_2\omega}\right).$$

D'ailleurs, conformément aux considérations que j'ai développées dans une étude précitée « La Lumière électrique » du 2 octobre 1915, p. 3, on règle les diverses cons-

Digitized by Google

tantes de manière que $X = 0$ pour la fréquence normale ; comme la résistance R_2 est toujours faible, ce réglage revient pratiquement à adopter pour ω la valeur particulière Ω telle que

$$L_1\Omega - \frac{M^2\Omega^2}{L_2\Omega - \frac{1}{C_2\Omega}} = 0,$$

soit

$$(8) \qquad (1 - k^2) L_2 C_2 \Omega^2 = 1,$$

en posant selon l'usage

$$k^2 = \frac{M^2}{L_1 L_2}.$$

Avec l'approximation consentie, et en tenant compte de (8), la formule (6) devient

$$(9) \qquad R = R_1 + \frac{L_1}{k^2 L_2} R_2.$$

Supposons maintenant que la pulsation devienne $\Omega(1 + \varepsilon)$, ε étant très petit, et évaluons l'accroissement ΔR qui en résulte ; on a évidemment, d'après la formule générale (6), en négligeant encore l'effet de la résistance R_2 sur le dénominateur :

$$(10) \qquad \Delta R = R_2 \frac{k^2 L_1 L_2 \Omega^2 (1 + \varepsilon)^2}{\left[L_2\Omega(1+\varepsilon) - \frac{1}{C_2\Omega(1+\varepsilon)}\right]^2} - R_2 \frac{L_1}{k^2 L_2},$$

ou

$$(11) \qquad \Delta R = - R_2 \frac{L_1}{k^2 L_2} \frac{4\varepsilon(1 - k^2)}{4\varepsilon + k^2},$$

en négligeant ε^2 dans les développements, et en utilisant la relation (8).

D'autre part, le déréglage supposé va faire apparaître une réactance ΔX, également facile à évaluer

$$\Delta X = L_1\Omega \left[1 + \varepsilon - \frac{(1+\varepsilon)^3 k^2 L_2 C_2 \Omega^2}{L_2 C_2 \Omega^2 (1+\varepsilon)^2 - 1}\right],$$

ou sensiblement

$$(12) \qquad \Delta X = L_1\Omega \frac{2\varepsilon(1 - k^2)}{2\varepsilon + k^2)}.$$

L'impédance primaire apparente passe ainsi de la valeur R à la valeur

$$\sqrt{(R - \Delta R)^2 + \Delta X^2},$$

lorsque la pulsation varie entre Ω et $\Omega(1 + \varepsilon$.

Eu égard aux signes respectifs de ΔR et ΔX, il est donc possible d'obtenir une très faible variation du débit dans l'antenne lorsque la vitesse de l'alternateur subit de légères fluctuations. A cet égard, les formules (11) et (12) montrent qu'il y a généralement avantage à rendre le coefficient de couplage k aussi élevé que possible.

En résumé, il est nécessaire que la courbe de résonance du système alternateur-transformateur-antenne-terre ne soit pas trop aiguë, si l'on ne veut pas que le débit dans l'antenne tombe rapidement lorsque la vitesse varie légèrement. On peut donc être tenté d'établir un dispositif maintenant automatiquement le réglage à la résonance ($X = 0$), en dépit de cette variation. Un premier essai de ce genre a été tenté vers 1890 par M. Maurice Leblanc, au moyen d'un dispositif très ingénieux, quoique un peu compliqué, agissant, d'après les légères variations de débit, sur une inductance variable ; le débit est maintenu ainsi pratiquement constant même si la fréquence n'est pas rigoureusement uniforme. En 1912, M. le général Ferrié nous a indiqué l'usage, dans le même but, d'un régulateur de vitesse à force centrifuge, ou dispoitifs équivalent, agissant encore sur une inductance variable. Récemment, M. Chireix, ingénieur de la Société Française Radio-électrique, nous a proposé un appareil très simple, basé sur l'usage d'une inductance variable dont l'organe mobile se trouve en équilibre indifférent lorsque l'intensité du courant a la valeur prévue ; elle ramène automatiquement le débit à sa valeur primitive lorsque les réactions électrodynamiques l'emportent sur l'action de contrepoids ou de ressorts de rappel, ou vice-versa. Enfin, j'ai indiqué moi-même ultérieurement un procédé purement statique revenant à déformer la courbe de résonance, et à en étaler le sommet, au moyen d'impédances complexes intercalées dans des circuits. On voit donc que les solutions pratiques du problème posé ne manquent pas.

IV. — **Couplage des machines à haute fréquence**. — L'importance des postes radiotélégraphiques munis de machines à haute fréquence croissant sans cesse, il peut être parfois intéressant de coupler ensemble plusieurs alternateurs et de constituer ainsi une véritable centrale pour transport d'énergie sans fil. Avec des machines en cascade la solution est simple; ainsi que l'a fait remarquer M. Latour, il suffit alors de répartir la multiplication des fréquences en plusieurs groupes électrogènes munis chacun d'un moteur indépendant et éventuellement d'un régulateur de vitesse. Avec des machines fournissant directement la fréquence requise, il ne faut guère songer à un couplage purement électrique en parallèle ; il est fort probable que le couple synchronisant ne suffirait pas à assurer la rigidité voulue à un tel couplage. Un couplage métallique demeure pourtant intéressant ici, car il permet l'emploi d'unités plus petites, donc plus faciles à réaliser, et, d'autre part, l'utilisation partielle de la station peut être envisagée.

Mais même ce couplage offre quelque difficulté pratique, car le pas polaire est très réduit, et, à moins de disposer de stators décalables à volonté, la mise en phase devient très délicate. Dans ma Conférence de 1914, j'avais indiqué (Note Annexe C) le moyen de transformer deux courants diphasés en un courant

Digitized by Google

monophasé unique; il est facile de généraliser le système au cas d'un déphasage électrique quelconque α. Reportons-nous en effet au schéma de la figure 2; supposons que l'alternateur 2 alimente directement l'antenne et fournit une force électromotrice égale à vide à

$$(13) \qquad e_2 = e(\cos\alpha + j\sin\alpha), \quad (j = \sqrt{-1}),$$

tandis que l'alternateur 1 est intercalé dans un circuit

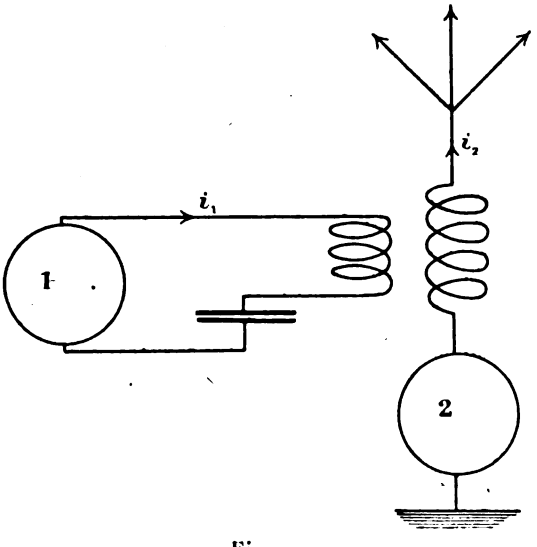


Fig. 2.

oscillant couplé inductivement avec l'antenne, et possède à vide une force électromotrice

$$(14) \qquad e_1 = e.$$

[Les égalités (13) et (14) indiquent que les deux alternateurs ont des forces électromotrices égales en amplitude, mais déphasées de l'angle α.]

Désignons par

i_1 et i_2 les courants respectifs dans les deux circuits;
z_1 et z_2 les impédances totales desdits circuits;
m leur coefficient d'induction mutuelle.

On a

$$(15) \quad \begin{cases} e_1 = e = z_1 i_1 + m\omega i_2 j. \\ e_2 = e(\cos\alpha + j\sin\alpha) = z_2 i_2 + m\omega i_1 j. \end{cases}$$

Pour que les deux alternateurs travaillent également et que les courants i_1 et i_2 soient respectivement en phase avec e_1 et e_2, on doit remplir en outre les conditions

$$(16) \quad \begin{cases} i_1 = ae_1, \\ i_2 = ae_2, \end{cases}$$

le coefficient *réel* a étant à déterminer.

En portant donc les valeurs (16) dans le système (15), on obtient les égalités simultanées

$$(17) \quad \begin{cases} 1 - az_1 = m\omega aj(\cos\alpha + j\sin\alpha), \\ (1 - az_2)(\cos\alpha + j\sin\alpha) = m\omega aj, \end{cases}$$

lesquelles, après élimination du coefficient a, déterminent les conditions à remplir entre z_1, z_2, m et α. Dans le cas particulier où $\alpha = -\frac{\pi}{2}$, les égalités (17) se réduisent d'ailleurs à

$$(17') \quad \begin{cases} 1 - az_1 = m\omega a. \\ -1 + az_2 = m\omega a, \end{cases}$$

ce qui donne, par élimination de a, la condition

$$(18) \qquad 2m\omega = z_2 - z_1.$$

Le premier membre étant réel, il faut donc que les parties imaginaires des impédances z_2 et z_1 soient égales, c'est-à-dire que les deux circuits considérés isolément soient accordés; la différence $z_2 - z_1$ se réduit alors à celle des résistances ohmiques totales desdits circuits, et l'on retrouve le résultat indiqué dans notre Conférence de 1914.

Quoi qu'il en soit, le montage de la figure 2 permet d'atteler sur une antenne unique deux alternateurs accouplés mécaniquement, sans qu'il y ait nécessité d'avoir une concordance de phase rigoureuse entre leurs forces électromotrices, pour obtenir un fonctionnement convenable au point de vue de la répartition des charges et du facteur de puissance.

Ce montage peut donc présenter quelque intérêt, notamment pour des stations extra-puissantes, surtout lorsque la construction adoptée pour les machines ne permet pas facilement l'usage de stators décalables (machines à disque, par exemple). Bien entendu, le principe qui vient d'être exposé s'étend au cas où l'alternateur 2 est couplé avec l'antenne au moyen d'un transformateur ou système équivalent.

J. Bethenod.

Digitized by Google

Revues, analyses et informations

Potentiels d'ionisation et de résonance relatifs aux électrons dans les vapeurs d'arsenic, de rubidium et de cæsium (1).

Le potentiel de résonance obtenu pour l'arsenic est 4,7 v et le potentiel d'ionisation 11,5 v. Comme ces valeurs sont voisines de celles relatives au mercure, soient 4,9 v et 10,3 v, les expériences ont été reprises avec toutes les précautions possibles ; elles ont fourni les mêmes résultats. Dans le cas des vapeurs métalliques étudiées jusqu'ici, la relation des quanta $Ve = h\nu$ indique que ces potentiels sont reliés aux fréquences de la première raie et de la raie ultime d'une série spectrale. On n'a constaté aucune relation analogue pour l'arsenic, mais on ne connaît que peu de chose sur les séries de l'arsenic. Les potentiels obtenus permettent de prévoir l'existence d'une série dont la première raie et la raie ultime auraient pour longueurs d'onde $\lambda = 2\,620$ et $\lambda = 1\,070$ A.

Pour la vapeur de rubidium, le potentiel de résonance est 1,6 v et le potentiel d'ionisation 4,1 v. Pour le cæsium ces valeurs sont respectivement 1,48 v et 3,9 v. Dans le cas du sodium et du potassium, Tate et Foote ont montré que ces potentiels peuvent être déterminés par la relation des quanta à partir des fréquences de la première raie et de la raie ultime de la série principale.

Ces séries, dans le cas du rubidium et du cæsium, sont des doublets nettement séparés. Foote et Mohler ont trouvé dans le cas du thallium que la raie de courte longueur d'onde du doublet détermine la valeur du potentiel de résonance. Le tableau suivant montre que les relations relatives au rubidium et au cæsium sont analogues à celles du sodium et du potassium. Les écarts sont tout à fait de l'ordre des erreurs expérimentales si l'on envisage, comme pour le thallium, la raie de courte longueur d'onde du doublet.

TABLEAU I. — *Potentiels de résonance et d'ionisation des métaux alcalins.*

MÉTAL	λ ($v = 1,5\,s - 2p$)	POTENTIEL DE RÉSONANCE calc.	POTENTIEL DE RÉSONANCE obs.	λ $v = 1,5\,f$	POTENTIEL D'IONISATION calc.	POTENTIEL D'IONISATION obs.
Li	6 707,85 A	1,849 v		2 299,67 A	5,363 v	
Na	5 895,94	2,092	2,12 v	2 412,63	5,112	5,13 v
	5 889,97	2,094				
K	7 699,01	1,602	1,55	2 856,69	4,318	4,1
	7 664,91	1,609				
Rb	7 947,64	1,554	1,6	2 968,40	4,155	4,1
	7 800,39	1,581				
Cs	8 943,46	1,379	1,48	3 184,28	3,873	3,9
	8 521,12	1,447				

A. B.

(1) Paul D. FOOTE, O. ROGNLEY et F.-L. MOHLER, *Physical Review*, février 1919, 2e série, t. XIII, p. 156, 250 mots, 1 tab.

Émission et absorption des photoélectrons par le platine et l'argent (1)

Quand la lumière traverse une feuille de métal très mince, des photoélectrons sont émis simultanément des deux côtés du métal. L'auteur désigne sous le nom de rayons d'incidence ceux qui sont libérés du côté de la lumière incidente et sous le nom de rayons d'émergence ceux qui vont du côté où la lumière émerge. Toutes les recherches antérieures de l'auteur et d'autres savants relatives aux propriétés photo-électriques de feuilles métalliques très minces ont été effectuées sur des couches déposées sur des lames de quartz. L'auteur s'est proposé, dans son travail, d'étudier des dépôts métalliques d'épaisseur inférieure à 10^{-6} cm avec une précision supérieure à celle obtenue jusqu'ici. — Afin d'éviter l'examen d'un grand nombre de couches transparentes d'épaisseur croissantes ou celui d'une couche constituée par des dépôts successifs qui auraient subi une fatigue photo-électrique par un long usage, l'auteur a opéré sur des coins métalliques transparents ou semi-transparents. Ces coins ont été obtenus par évaporation dans le vide d'un fil métallique très fin, porté à l'incandescence au moyen d'un courant électrique, la lame de quartz sur laquelle le dépôt doit s'effectuer étant disposée au-dessous et de côté ; le métal se vaporise et se dépose sur le quartz suivant une épaisseur qui va en décroissant à partir de la projection du fil sur la plaque. L'auteur a étudié l'argent et le platine. Les coins ont été déposés par l'évaporation de fils du métal chimiquement pur, de 0,043 cm de diamètre. Le fil était disposé à 12 cm au-dessus du plan d'une lamelle de quartz de $2,5 \times 1,0 \times 0,1$ cm.

L'épaisseur aux différents points d'un coin a été déterminée par la méthode indirecte suivante : on recouvre une lamelle de quartz, de dimensions identiques à celles de la lame sur laquelle le dépôt effectué, d'une couche uniforme d'épaisseur comparable à celle du bord épais des coins qu'on obtient par évaporation d'un fil qui se déplace parallèlement à la lame, d'un mouvement alternatif et uniforme. On mesure ensuite la résistance électrique du dépôt obtenu, d'où l'on déduit l'épaisseur.

L'examen photo-électrique de cette surface d'épaisseur uniforme, effectué sous des conditions analogues à celui du coin, permet de connaître l'épaisseur de la partie du coin qui fournit un courant photo-électrique d'intensité égale. L'auteur évalue à 10 pour 100 les erreurs commises dans la mesure des épaisseurs.

Il a étudié la variation du courant photo-électrique, rapporté à un faisceau incidenté d'intensité unité, en fonction de l'épaisseur et pour des rayonnements monochromatiques de diverses longueurs d'onde. Il termine en exposant quelques essais de théories.

A. B.

(1) Otto STUHLMAN, *Physical Review*, février 1919, deuxième série, t. XIII, p. 109-133, 9 000 mots, 9 fig. 6 tabl.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

L'avenir du labourage électrique et le remembrement de la propriété rurale

L'application de l'électricité au labourage exigeant l'immobilisation d'un capital considérable ne devient avantageuse que pour les grands domaines et, pour réaliser ces derniers, deux solutions se présentent : constitutions de coopératives ou remembrement de la propriété. L'auteur est d'avis que les entreprises de labourage qui résoudraient le premier point n'ont pas de chances de succès ; il préconise donc la seconde solution et invite les électriciens à étudier le matériel électrique qui pourra y satisfaire.

La Terre meurt de ne plus être aimée.

Je m'empresse tout d'abord de déclarer que je ne crois pas être un descendant d'Isaïe et que je suis à peu près certain de n'avoir aucun lien de parenté avec Mme de Thèbes. Les lignes qui suivront n'ont donc pas la prétention de « prédire », au sens habituel de ce mot, ce que sera l'avenir du labourage électrique, quoique l'on puisse toujours faire dire tout ce que l'on veut à une prédiction bien faite et suffisamment obscure. Mon but est plus modeste, hélas, et je voudrais simplement examiner en toute sincérité, sans me laisser bercer en de vains mirages, quelle pourra être demain l'importance du labourage électrique en France, ce qu'il est possible d'attendre de lui, ce qu'il faudra faire pour aider à son développement.

Tout le monde — agriculteurs, économistes, ingénieurs, hommes d'État même ! — est d'accord pour reconnaître que la culture mécanique s'imposera d'elle-même. Crise de main-d'œuvre et diminution considérable du nombre des animaux de trait, mais siècle du machinisme, c'est le remède près du mal ; en outre il faut chercher à obtenir en tout — et l'agriculture est une industrie comme une autre — le rendement maximum. Or, avant la guerre, nous faisions des progrès à reculons puisqu'il ressort de l'Annuaire de Statistique agricole que de 1910 à 1914 le rendement moyen en céréales par hectare allait chez nous en diminuant ! Et il fallait alors évidemment, pour combler le déficit, augmenter nos importations qui, pendant cette période s'accrurent de 33 pour 100 pour le seigle, le maïs, l'orge et l'avoine. Ce sont là de nouveaux motifs, et des motifs impérieux, qui poussent irrésistiblement l'agriculture française vers une industrialisation de plus en plus complète. Nous ne ferons d'ailleurs que suivre d'autres pays moins timides, moins enclins à écouter cette prudence, qui n'est souvent que de la routine et qui nous amène constamment comme le faisait remarquer si judicieusement M. le sénateur Chauveau « à tourner constamment les yeux vers l'État dans l'attente d'un conseil, d'une protection ou d'une aide ».

Mais le labourage électrique ne saurait prétendre à représenter un jour à lui seul la culture mécanique, et ce serait se faire une illusion dangereuse que de le croire capable de résoudre tous les problèmes qui se présentent dans la culture du sol.

Certes l'électrification de la ferme s'imposera de plus en plus et son développement suivra immédiatement celui des réseaux de distribution ; dès avant la guerre, nos agriculteurs, grands et petits, avaient bien vite reconnu la simplicité du moteur électrique, sa commodité pour la commande de tous les outils de la ferme, son économie, etc. Mais tous ces outils fonctionnaient dans la ferme même ; le labourage, au contraire, exige que l'on transporte l'énergie dans les champs, et là, les difficultés qui surgiront, la complication d'un réseau à haute tension, les frais élevés à engager, feront naître bien des hésitations. Et je crois d'ailleurs fermement que vouloir à tout prix prôner le labourage électrique, en faire l'universelle panacée, ce serait aller à l'encontre du but recherché : le développement de cette application si intéressante à tant de points de vue.

Il faut, en effet, avant tout, se rendre compte de ce que sont les diverses façons ou opérations culturales, en tant qu'applications mécaniques. Les unes comme le hersage, le scarifiage, etc., exigent peu de puissance, alors que les défoncements et les labours profonds exigent une assez grande puissance. Dans les labours même il y a lieu de distinguer ceux qui ne dépassent pas une vingtaine de centimètres de profondeur des labours profonds à 35cm et plus.

Les hersages, roulages, etc., resteront l'apanage du moteur animé car il ne faut pas oublier que les tracteurs ou les treuils, même s'ils étaient parfaits, n'amèneront jamais la disparition des animaux de trait. Les labours légers constituent le domaine où jusqu'ici les tracteurs ont donné des résultats satisfaisants. Les treuils sont les seuls qui permettent les labours profonds.

Un premier point peut donc être considéré comme

Digitized by Google

acquis ; le labourage électrique ne trouvera d'application assurée, avec un succès incontestable, que pour les labours au delà de 30 à 35 cm de profondeur. N'espérons donc pas son développement intensif dans les régions de terres légères où l'on cultive surtout le blé et pas la betterave. L'agriculteur, en effet, préfèrera alors le tracteur, beaucoup plus simple, qui est en outre susceptible de lui rendre d'autres services et qui, surtout, lui coûtera beaucoup moins cher d'acquisition.

Mais, même dans le domaine des labours profonds, le treuil électrique a des concurrents qu'il ne faut pas dédaigner. Si le treuil à vapeur s'élimine lui-même par le prix de revient, par les inconvénients de son alimentation en eau et en charbon, etc., il est des nouveaux venus qui pourraient fort bien n'être pas négligeables ; ce sont les treuils commandés par des moteurs à explosion. Plusieurs ont fonctionné de façon satisfaisante et l'application du moteur Diesel peut conduire à des résultats extrêmement intéressants, déjà un treuil anglais, le « Victoria », a été équipé avec un moteur semi-Diesel.

Mais il est en outre d'autres considérations qui compliquent encore la question et tendent à créer une certaine incertitude sur l'orientation de la culture mécanique tout entière : tout ce qui précède est basé sur l'hypothèse que le travail du sol est effectué au moyen d'une machine appelée charrue, qui a été créée jadis pour être *traînée* par l'homme, puis par des animaux ; les tracteurs et les treuils réalisent la solution la plus simple de la culture mécanique : on s'est contenté de leur faire remplacer les chevaux et les bœufs et on leur a fait traîner l'antique charrue. Est-ce bien là la solution idéale ?

Certains ne l'ont pas pensé, ils ont songé qu'il serait plus rationnel de chercher à créer de toutes pièces des machines nouvelles conçues pour être actionnées par un moteur mécanique et comme ce dernier a généralement un mouvement rotatif, on a été naturellement conduit à étudier des machines à labourer rotatives. Il en existe divers types (piocheuse Lanz, motoculteur, laboureuses Tourand et Vermond, etc.) dont certains ont donné d'excellents résultats « mécaniques ».

Mais au point de vue cultural la question de savoir si le travail de la charrue est préférable à celui des machines à outils rotatifs, qui pulvérisent le sol, est très controversée. La machine rotative a évidemment l'avantage de donner en une seule opération un sol ameubli, alors qu'avec la charrue, si le travail des pluies et des gelées d'hiver a été insuffisant pour réduire les mottes, il faudra ensuite passer le brise-mottes, la herse, etc... Mais les défenseurs de la charrue répondent par un argument qui a lui aussi une grande valeur : un terrain pulvérisé verra à l'hiver sa surface se transformer en bouillie, puis en croûte imperméable qu'il faudra ensuite rompre pour permettre l'aération.

Le procès est loin d'être jugé, et je me garderai évidemment, en mon ignorance des secrets de la science agricole, de prendre parti. Je ne veux retenir de ce qui précède que la possibilité de voir un jour abandonner la charrue ce qui conduirait en même temps à l'abandon des treuils. Le labourage électrique ne pourrait plus alors être envisagé qu'avec des machines automotrices, comme l'était la charrue-toueuse électrique Zimmermann.

A ces incertitudes sur l'orientation des efforts, viennent encore s'ajouter des difficultés d'un autre ordre, communes, il est vrai, à tous les systèmes de motoculture et dont la solution est d'autant plus délicate qu'elle soulève des problèmes non plus de pure mécanique, mais presque d'ordre social : je veux parler du morcellement de la propriété rurale. Si l'on a pu y remédier dans une faible mesure par des coopératives agricoles de labourage (comme dans la région de Meaux), il n'en reste pas moins vrai que ce ne sont pas là des moyens sur lesquels on peut compter pour une application généralisée. Les petits propiétaires, c'est-à-dire ceux-là précisément qui gêneront la culture mécanique, sont réfractaires à l'idée d'association ou de coopération ; ils sont égoïstes par atavisme et par méfiance ; la création d'entreprises de labourage, absolument analogues aux entreprises de battage, pourra dans une certaine mesure remédier au morcellement des terres ; il y a cependant lieu de remarquer, ce qu'on oublie souvent, que la comparaison entre ces deux genres d'entreprises ne saurait être faite sans restriction. Lorsqu'il s'agit de faire battre leurs récoltes, les paysans ne sont pressés que par le désir de réaliser au plus tôt la vente de leurs grains ; au contraire, pour le labourage de leurs terres, ils seront poussés par la nécessité inéluctable de les voir travaillées à temps voulu ; ceci revient à dire que s'ils patientent assez fàcilement en attendant l'entrepreneur de battage, il n'en sera plus de même lorsqu'il s'agira de l'entrepreneur de labourage. En outre, l'entrepreneur de battage va d'un client à l'autre à sa guise, en ne tenant compte la plupart du temps que de son désir de satisfaire l'un ou l'autre ; au contraire, pour le labourage, il faudra réunir un nombre de parcelles suffisant pour constituer une surface à travailler de plusieurs hectares, ce qui implique que tous les propriétaires de ces parcelles devront — en admettant qu'ils consentent à recourir tous aux bons offices de l'entrepreneur — être prêts en même temps.

Les difficultés ont paru, à tous ceux qui ont sérieusement étudié la question, tellement insurmontables, qu'ils ont unanimement envisagé le seul moyen radical de guérir le mal : le remembrement de la propriété. Grave question que le gouvernement a déjà abordée, mais qui se heurtera à des complications nombreuses. Faut-il simplement poursuivre un remembrement cultural, en généralisant et réglementant les « échanges de culture » réalisés par les fermiers et qui respectent la propriété, comme le proposait M. Listre au dernier Congrès du Génie civil? Doit-on au contraire procéder à un remembrement territorial comme le demandait à ce même congrès, M. Vignerot, malgré la complexité de la tâche ?

Un grand nombre d'Etats n'ont pas hésité à le faire et, en particulier, l'Allemagne est parvenue à créer de grands domaines agricoles disposant de moyens mécaniques et financiers puissants, véritables établissements

Digitized by Google

de culture industrielle, grâce à une loi qui prescrit que lorsque la majorité des propriétaires d'une commune, représentant les deux tiers des terres en culture est d'avis de réunir toutes les parcelles, la minorité doit s'y soumettre. On ne voit donc pas à priori, si individualiste que puisse être l'esprit français, pourquoi nous ne parviendrions pas en France à réaliser une mesure vitale pour l'agriculture entière, c'est-à-dire d'un intérêt commun pour tous.

Quelles conclusions peut-on tirer de ces remarques, malgré leur apparente incohérence ? Certains trouveront peut-être qu'elles sont empreintes d'un pessimisme exagéré; je suis cependant et je reste un partisan convaincu du labourage électrique, mais j'estime qu'il ne faut jamais voir les choses sous l'angle où elles apparaissent comme trop faciles et qu'il y a plus de mérite à regarder en face des difficultés, car c'est le seul moyen de les résoudre.

Or pourquoi nous dissimuler que le développement du labourage électrique exigera des efforts persévérants et qu'il est encore loin d'être résolu pratiquement ? Pourquoi ne pas étudier minutieusement ses concurrents, qui auront droit eux aussi à leur place et sauront d'ailleurs se la faire ? Pourquoi ne pas avouer que parmi ceux qui devraient s'intéresser à lui, les agriculteurs restent indifférents ou timorés, les distributeurs de courant sans engouement parce que l'utilisation de l'énergie absorbée par le labourage est vraiment déplorable, les constructeurs hésitants parce qu'ils ne connaissent encore qu'imparfaitement les desiderata du matériel à créer, ses débouchés, etc. ?

Pourquoi ne pas rappeler qu'il ne suffit pas de construire un matériel parfait, simple, d'un prix abordable, mais qu'il restera encore à l'exploiter, ce qui nécessitera une organisation spéciale, tant à cause des questions techniques que le cultivateur ne saura pas résoudre, que du contrôle que demandera le distributeur sur le courant emprunté à ses lignes haute tension ? Pourquoi enfin ne pas reconnaître que tous ces problèmes résolus, le plus ardu d'entre eux, celui qui touchera le plus intimement au cœur la masse des paysans français, le remembrement de propriété trop morcelée restera encore comme un point d'interrogation redoutable ?

Il n'est pas douteux que, dans quelques années, la culture mécanique aura pris un développement considérable en France ; mais le labourage électrique aura-t-il su se faire une place importante ?

Répondre à cette question serait prétendre à ce rôle de prophète dont je me suis défendu dès le début de ces lignes ; mais, en comparant ce qu'ont fait nos ennemis qui ont donné au labourage électrique un développement intensif, et ce que nous avons réalisé pendant la même période, en réfléchissant à ce qu'ils avaient fait avant la guerre, en songeant que chez nous un enfant en bas âge pourrait compter le nombre des matériels de labourage électrique en service à l'heure actuelle, on ne peut se défendre de douter.

Jeter le cri d'alarme, avec l'espoir qu'à la fin il sera peut-être entendu de tous : agriculteurs, constructeurs et distributeurs, et les décidera à une coopération féconde, tel est le simple et très modeste but auquel j'aspire.

Ach. DELAMARRE.

Relais employés en télégraphie sous-marine

Après avoir montré quelle est la vitesse de transmission sur les câbles sous-marins, l'auteur passe en revue les relais les plus employés avec ce système de télégraphie; il indique les résultats obtenus et termine en disant un mot des récepteurs à résonance.

Vitesse de transmission obtenue sur les câbles. — Aujourd'hui, de grands postes radiotélégraphiques sont en communication constante les uns avec les autres et les progrès accomplis permettent même d'espérer que la communication pourra être maintenue en permanence malgré la violence des parasites atmosphériques. La question qui se pose est de savoir si la télégraphie sans fil n'est pas appelée à détrôner dans un avenir prochain la télégraphie sous-marine. Ce problème intéresse beaucoup de personnes qui ont engagé leurs capitaux dans ces diverses entreprises; mais si l'on examine les comptes rendus des assemblées générales de sociétés de câbles, comme la Grande Compagnie des Télégraphes du Nord, on s'aperçoit que la société de câbles est en réalité copropriétaire des principaux brevets utilisables en télégraphie sans fil, de sorte que les câbles se trouvent ainsi assurés contre la concurrence des stations radioélectriques. C'est donc plutôt à l'intérieur même d'une société que l'on a à mettre en balance les avantages et les inconvénients des deux modes de télécommunication. Je ne saurais entrer ici dans l'examen comparatif des frais d'établissement. Il est probable qu'un câble franco-américain pourrait coûter de 15 à 18 millions. M. Larose, ingénieur des Télégraphes, comparant le tracé Brest-Cap-Cod direct (1898) au tracé Brest-Saint-Pierre-Cap-Cod (1879), dont les longueurs totales ne diffèrent que de 0,5 pour 100, établit que si l'on avait renoncé au parcours direct en 1898, on aurait pu employer 202 tonnes de cuivre de moins et 102 tonnes de gutta de moins, et diminuer la dépense d'un cinquième environ. On ne peut donc se baser sur les prix des derniers câbles posés.

Digitized by Google

D'autre part, il y a aussi de grandes incertitudes sur la rapidité de transmission, elle dépend éminemment de l'habileté des opérateurs. On peut atteindre une vitesse de 550 à 560 signaux ou 140 lettres par minute sur un câble transatlantique bien desservi.

Il n'y a guère de câble transatlantique qui desserve moins de 120 lettres à la minute et il y en a qui vont jusqu'à 300 lettres et au-delà dans chaque sens.

Le système duplex est généralement employé, le rendement est presque doublé (environ 180 pour 100).

Ces résultats sont dus à l'emploi des amplificateurs Heurtley et Orling. Enfin le relais de câble de Brown et Dearlove permet la translation aux stations intermédiaires.

Appareil récepteur Ader. — Les résultats publiés en France ne sont pas très nombreux. La télégraphie sous-marine occupe peu de place aux comptes rendus de l'Institut.

Nous y relevons cependant les résultats obtenus par Ader : « M. Ader a réussi à reculer considérablement les limites de vitesse obtenues avant 1897, au moyen d'un nouvel appareil enregistreur fondé sur le principe de l'action d'un champ magnétique sur un élément de courant. Le champ magnétique est fourni par un aimant permanent très puissant, entre les pôles duquel passe un fil conducteur parcouru par le courant du câble et tendu à l'une de ses extrémités par un minuscule dynamomètre réglable à volonté. Selon le sens du courant, le fil, d'après les lois connues, tend à se déplacer parallèlement à lui-même en avant ou en arrière. Comme il est maintenu aux deux bouts, il oscille et ses oscillations représentent, en quelque sorte, l'image des ondes électriques qui lui parviennent. Le fil employé, grâce à son petit diamètre, de deux centièmes de millimètre, suit très docilement les variations de la force qui lui est appliquée. Pour porter cette force à son maximum, l'entrefer adopté est très court, ne dépassant pas 0,0005 mm. Le circuit magnétique est ainsi presque fermé. Il y a peu de dispersion, le flux est très bien concentré. M. Ader utilise, en un mot, le flux dans les meilleures conditions. Les oscillations du fil sont enregistrées par la photographie : les rayons lumineux d'une lampe ordinaire traversent l'une des pièces par une petite ouverture, qui y est ménagée, tombent sur le fil, puis, aussitôt après, sur une paroi opaque appliquée contre l'autre pièce polaire et portant une fente longue et étroite perpendiculaire à la direction du fil. Derrière cette fente se déroule une bande photographique, préparée au gélatinobromure d'argent, que balaye donc un plan lumineux, interrompu à l'endroit où les rayons ont été interceptés par le fil. Celui-ci détermine là un point d'ombre qui oscille avec lui et trace sur le papier une courbe sinueuse semblable à celle que donne le siphon recorder de Lord Kelvin. En fait, le fil est trop mince pour que la diffraction ne fasse pas disparaître son image ; aussi dans la partie frappée par les rayons, M. Ader l'a-t-il entouré d'une petite gaine en ailes de plume, qui, sous un volume relativement grand, présente une très faible masse. La bande télégraphique, immédiatement après qu'elle a été impressionnée, passe par des bains fixateurs et sort prête à être lue.

» L'appareil ainsi disposé est beaucoup plus sensible que ceux qui l'ont précédé. Combiné avec un mode de transmission bien compris, il a été essayé sur le câble transatlantique de Brest à Saint-Pierre et sur les câbles Marseille-Alger. Sur le premier, il a facilement fourni 600 signaux par minute ; le recorder n'en donne guère plus de 400. Sur les seconds, on pouvait encore lire aisément les signaux transmis à la vitesse de 1 600 par minute, alors qu'on ne peut dépasser 600 avec les autres récepteurs. »

Ces essais comparatifs ont été exécutés en septembre 1896 sur le câble transatlantique de Brest à Saint-Pierre (longueur = 2 242 milles nautiques ; le produit de la capacité par la résistance $Ct = 6{,}6 \times 10^6$ ohms × microfarads) (voir « l'Eclairage électrique » des 24 juillet et 7 août 1897).

Parmi les autres documents, nous signalerons l'étude expérimentale (traduction de M. André Regnier) qui a été faite de la forme des signaux reçus au siphon recorder par J. Rymer Jones. On y voit l'importance des instruments qui, suivant l'expression de M. Godfroy, sont des redresseurs de la courbe d'arrivée, faisant varier l'intensité et la durée des courants suivant la nature et l'ordre des émissions et constituant des transmetteurs à compensation et à décharge automatique.

Le compte rendu le plus complet de ces questions a été fait par M. Larose en septembre 1908 au Congrès international des Applications de l'électricité.

Relais Heurtley et Orling. — Enfin les relais Heurtley et Orling ont été décrits sommairement dans le formulaire de W.-H. Eccles (Wireless Telegraphy and Telephony) et dans le traité de H.-W. Malcolm intitulé : « Théorie du câble télégraphique et téléphonique sous-marin ».

Voici une traduction du passage correspondant :

« Dans l'amplificateur inventé par M. E.-S. Heurtley, dont la figure 1 montre schématiquement la forme adoptée

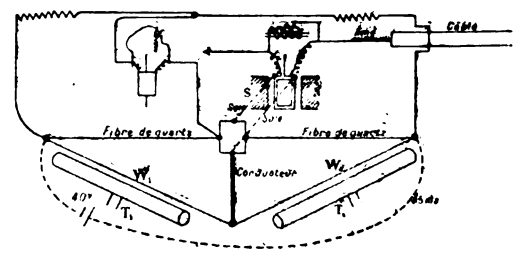


Fig. 1.

dans la pratique, le mouvement de la bobine réceptrice est communiqué par des fibres de soie à une lamelle d'aluminium susceptible de prendre un mouvement de balancement autour d'un axe horizontal. Cette lame porte deux fils de platine très fin (0,7 millième de pouce

Digitized by Google

de diamètre), lesquels sont chauffés par le passage d'un courant local et forment les deux branches d'un pont de Wheatstone. Les tubes T_1 et T_2 communiquent avec une source d'air froid; ils sont refendus suivant une génératrice, dans le voisinage des fils W_1 et W_2. Les positions de ces fentes sont réglées de façon qu'une élongation de la bobine dans un sens déterminé amène W_1 dans la veine d'air froid, tandis que W_2 reste en dehors de la veine d'air froid de l'autre tube et, par suite, reste chaud; au contraire une déviation en sens opposé amène W_2 dans la veine d'air froid, W_1 restant en dehors. De cette manière, les inversions de courant reçues par le câble ont pour effet de modifier l'équilibre du pont dans un sens ou dans l'autre, produisant ainsi le renversement des signaux dans le siphon recorder local. Des résultats analogues peuvent être obtenus si la bobine fait mouvoir des écrans devant l'une ou l'autre fente. Pour compenser le retard dû à l'échauffement ou au refroidissement des fils, on peut insérer des inductances ou des capacités dans les bras du pont pour accentuer les signaux. On dit que l'instrument permet de recevoir à raison de 75 mots à la minute avec un courant d'action de 0,7 microampères (1). Il est maintenant en service courant sur les câbles d'au moins cinq compagnies. Sur un câble où le travail se fait en duplex, il a accru la vitesse dans les deux sens de 40 pour 100 en la portant de 135 à 190 lettres à la minute. »

Les résultats obtenus au moyen de l'amplificateur Heurtley ont été exposés dans un article publié par M. Luers, Ober-Telegraphen sekretär in Emdem, dans les « Archiv für Post und Telegraph », dont nous donnons une traduction (2).

Relais de câble Brown. — Le fonctionnement du relais de câble de S.-G. Brown est le suivant : le câble, à l'arrivée, est coupé par un condensateur, le courant variable traverse ce condensateur et se rend à la bobine réceptrice mobile entre les branches d'un électro-aimant permanent, puis à la terre. La bobine réceptrice mobile est shuntée par une dérivation dont on peut régler à volonté l'inductance. Les déplacements oscillatoires de la bobine sont transmis par des fils aux deux extrémités du fléau d'une balance horizontale, que de très légers ressorts antagonistes tendent à ramener dans l'azimuth de repos. A l'une des extrémités de ce fléau est relié un fil métallique très fin enfermé dans un tube de verre capillaire dont l'autre extrémité est une pointe d'iridium qui repose sur la jante d'un tambour constitué par trois disques accolés, isolés entre eux par des lames de mica. Ces disques sont en argent; au repos la pointe frotte sur le disque intermédiaire, puis, suivant le sens de l'impulsion reçue, se porte sur l'un ou l'autre des deux disques extrêmes, fermant ainsi un courant local à travers un relais R' ou à travers un relais R". L'extrémité du fil contenu dans le fil capillaire attenante au fléau est en communication électrique avec une légère spirale reliée à la pile commune. Des condensateurs shuntent les étincelles d'extra-courant.

La sensibilité du dispositif est due à l'application du principe des mouvements louvoyants de Haton de la Goupillière. Pendant que la pointe frotte sur la jante cylindrique des disques, ceux-ci sont en mouvement de rotation régulier.

Les condensateurs sont aussi utilisés pour donner aux circuits des relais une période propre de durée égale à celle des points transmis sur la ligne, de façon que le courant de réception n'ait à effectuer de travail que pour prolonger les contacts sur les armatures, de façon à marquer les intervalles ou à tracer les traits, conformément au principe de K. Gulstad que je vais décrire, dans un instant.

Le relais anciennement employé était le relais Brown et Allan.

Relais Brown et Allan. — Dans ce relais, l'électro-aimant récepteur (fig. 2) est suspendu par un fil; il oscille entre les pôles de deux aimants en fer à cheval; un ressort antagoniste tend à le ramener dans une position intermédiaire. Pendant que le noyau qui sert d'armature se déplace sous l'action du courant, la languette qui se porte sur l'un des butoirs de travail et qui est entraînée par simple frottement y demeure jusqu'à ce que l'électro-aimant obéisse à une impulsion de sens contraire, mais alors la languette quitte immédiatement le butoir sur lequel elle était venue prendre contact, et repart sans temps perdu vers le contact opposé, exerçant d'autre part une action modératrice dès que le contact est assuré

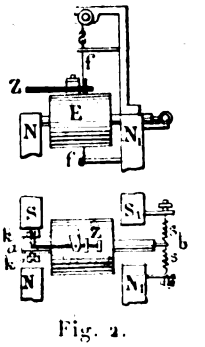


Fig. 2.

Relais K. Gulstad. — Depuis déjà de longues années, la Grande Compagnie des Télégraphes du Nord utilise le relais K. Gulstad, dit relais à vibration.

On sait que les transmissions sont atténuées au cours de la propagation du courant suivant une loi exponentielle et que les divers harmoniques qui les constituent subissent individuellement une action différente dont l'effet porte le nom de distorsion. Les signaux ne sont plus représentés que par de vagues ondulations, auxquelles le relais polarisé ordinaire n'est plus sensible.

Dans le relais vibrateur, l'attraction magnétique des noyaux sur la palette mobile peut être combattue par un courant local auxiliaire d'intensité convenable, tout en améliorant les contacts contre les butoirs.

Avec un relais polarisé d'une sensibilité absolue, les signaux correspondraient exactement aux périodes de temps pendant lesquelles l'intensité du courant serait d'un signe déterminé; si, au contraire, le courant reçu doit vaincre l'attraction magnétique des noyaux polari-

(1) *Electrician*, 1913, t. LXXII, p. 433.

(2) On trouvera plus loin, p. 802, une note plus complète sur le relais Heurtley et Orling d'après un article de Luers publié dans les *Archiv für Post und Telegraph*.

Digitized by Google

sés, il ne commencera à être enregistré qu'à partir du moment où son intensité dépassera un seuil i_0, jusqu'au moment où l'impulsion inverse dépassera une autre valeur formant seuil pour l'action inverse.

Dans le relais vibrateur, la période de vibration est réglée sur la vitesse d'émission des points envoyés par le poste de transmission. Quand le câble n'est parcouru par aucun courant, le relais ne vibre pas, la palette reste contre le butoir de repos ; quand le courant de travail a une intensité suffisante dépassant une certaine limite i, la palette est portée contre le butoir de travail, dans ce cas encore le relais ne vibre pas et c'est un trait qu'on reçoit ; que si le courant de travail est produit par l'émission d'une série de points, son intensité ne peut atteindre la limite i précédente, mais alors le relais entre en vibration et c'est de lui-même qu'il reproduit la série de points conforme à l'émission. Le seul travail demandé au courant de câble, c'est donc d'interrompre les vibrations en temps voulu.

Le diagramme de la figure 3 permet de voir comment les vibrations se produisent. Quand le doigt de l'armature entre en contact avec le butoir de droite, le condensateur a se charge et le courant de charge contribue à maintenir le contact, cependant qu'un courant antagoniste est déjà envoyé dans la bobine de gauche ; ce courant finit par rompre le contact ; le courant de décharge du condensateur à travers l'ensemble des deux bobines tend à accélérer le mouvement de retour de l'armature ; mais à peine le doigt est-il entré en contact avec le butoir de gauche que les mêmes phénomènes qui s'étaient produits du côté droit du diagramme se reproduisent maintenant du côté gauche.

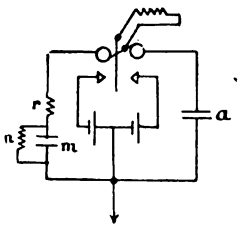


Fig. 3.

La valeur de la période est fonction des capacités a m et des résistances r, n. On peut donc la régler sur la vitesse d'émission des points.

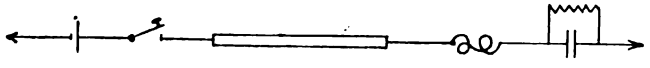


Fig. 4.

La figure 4 montre le câble bloqué à l'arrivée par un condensateur shunté.

Le diagramme à la réception sur les câbles entre la Suède et l'Angleterre est indiqué en figure 5.

Quand un courant positif arrive de A à travers le câble, le doigt de l'armature est rejeté sur le butoir C_u ; dès qu'il le touche, le courant antagoniste agit. Son intensité dépend de la résistance p ; on la règle de façon à contrebalancer exactement l'attraction magnétique. On supprime ainsi le collage et on augmente la sensibilité. Si on diminue p, le relais se met à vibrer et on peut ajuster les réglages pour avoir la fréquence qu'on cherche. Le condensateur t a pour objet d'absorber l'extracôurant ; la résistance n sert à modérer l'intensité de cet extracourant. La sûreté des contacts dépend de la valeur de la capacité et du jeu entre butoirs. Si on relie p au point entre les bobines, comme dans la figure antérieure, la stabilité mécanique est favorisée.

Comme on le voit, le relais porte deux enroulements, un enroulement de ligne et un enroulement local relié à travers p soit à C_u soit à Z_n. On conçoit qu'on pourrait, dans des conditions de symétrie parfaite, équilibrer à

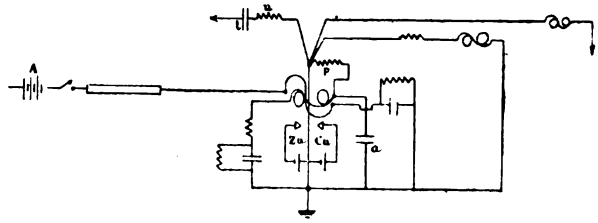


Fig. 5.

chaque instant le courant de câble d'une façon rigoureuse, si p, au lieu d'être une simple résistance, était une ligne artificielle et si le relais n'avait pas de retard. Le régime variable serait le même pour le courant de ligne et pour le courant local. Dans ces conditions l'action magnétique serait toujours égale à zéro, sauf au moment où le courant de câble changerait de sens, car alors le doigt de l'armature serait porté sur l'autre butoir, mais aussitôt le contact assuré, la compensation serait rétablie.

En même temps qu'on cherche une fréquence particulière, on doit donc chercher aussi une loi convenable d'établissement du courant. Les traits sont-ils plus longs que de raison, il faut faire monter plus vite le courant local, on réduira p. Au lieu d'agir sur le courant local, on peut d'ailleurs agir sur le courant de câble en modifiant le conducteur et son shunt.

Le relais à vibrations est employé sur plusieurs câbles de la Grande Compagnie des Télégraphes du Nord. Il a permis d'accroître notablement la vitesse de transmission. Les signaux reçus de Newcastle par câble à Gothenburg sont retransmis par relais vibrateur à Nystad en Finlande à la vitesse de 90 mots par minute ; on peut atteindre 120 ; sur le relais, on tombe à 30.

Voir pour plus de détails « Electrical Review », june 1898 et august 1902, articles de K. Gulstad, avec tracés des courbes d'arrivée du courant.

Translation de Calais. — Sur le même principe on peut opérer à Calais la retransmission sur Paris par ligne aérienne des courants reçus par câble de Fredericia. Le diagramme indiqué sur la figure 6 montre une combinaison de circuits qui a été employée avec succès, dans des expériences auxquelles des considérations administratives ont empêché de donner suite.

Récepteur à résonance de M. Blondel. — Le dispositif à résonance de K. Gulstad nous rappelle un

Digitized by Google

dispositif qui a été décrit dans la « R. G. E. » du 18 mai 1918, p. 723, dans l'article intitulé : « Sur l'emploi du ticker de réception utilisé en télégraphie sans fil comme appareil pratique susceptible de remplacer un galvanomètre pour les mesures industrielles. » On y indiquait qu'on peut faire fonctionner des relais et en particulier des relais de télégraphie sans fil par des émissions rythmées interrompues donnant des ondes rectangulaires. Mais ce dispositif n'est pas nouveau, bien loin de là ; il a été exposé par M. Blondel, à la Société française de Physique, le 16 avril 1914, sous le nom de « relais de résonance pour télégraphie sans fil ». Comme ce procédé semble avoir été ultérieurement réinventé, en par-

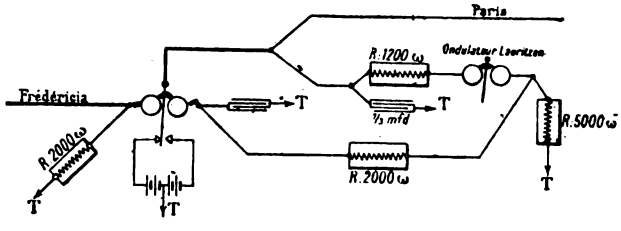


Fig. 6.

ticulier en Amérique, il n'est peut-être pas inutile de préciser ici en quoi consiste l'invention.

Le relais est un galvanomètre (type d'Arsonval) à cadre réduit, soutenu par une double suspension bifilaire. On peut modifier les tensions des fils et leur écart. On peut ainsi régler la période d'oscillation de un quart de seconde à deux secondes. L'appareil porte en outre deux contacts fixes en platine à écart réglable ; un contact mobile est fixé à l'équipage.

Si l'on envoie un courant continu interrompu, la durée d'activité étant égale à la durée de l'interruption, on a en réalité la superposition d'un courant continu et d'un courant alternatif. On règle la période du relais sur celle de ce courant alternatif ; le cadre oscille, son amplitude croît jusqu'à ce que le contact mobile vienne alternativement toucher les deux contacts fixes. A ce moment, un signal peut être enregistré. L'amplitude peut dépasser cent fois celle qui correspondrait à un courant continu de même valeur ; la durée de la mise en résonance dépend de l'écart des contacts fixes.

Les progrès de la radiotélégraphie étant immédiatement utilisés par les installations militaires, je suis obligé de me borner, pour le moment, à cet aperçu de quelques perfectionnements apportés à la télégraphie sous-marine.

J'ai décrit les relais Brown et les relais Gulstad ; le lecteur trouvera d'autre part les descriptions des relais Heurtley et Orling. Ce dernier ne paraît en être encore qu'à la période d'essai. Il est intéressant parce qu'il utilise les propriétés des fluides (1).

Récepteur Charron à résonance hydrodynamique. — Les propriétés des fluides peuvent être mises à contribution, toutes les fois que les pièces à manier sont extrêmement délicates ; et l'on doit, à cet égard, donner quelque atteution aux expériences faites par M. F. Charron, en mai 1914, à Angers, dans le but d'amplifier et d'enregistrer les signaux radiotélégraphiques. Je me bornerai à quelques indications sommaires :

L'écouteur téléphonique d'un poste récepteur de télégraphie sans fil est légèrement modifié : au lieu de présenter une large ouverture, il s'ouvre dans l'air par un étroit ajutage qui concentre les vibrations sur l'orifice d'un tube capillaire vertical perpendiculaire à l'axe de l'ajutage. Par ce tube sort un jet de gaz d'éclairage avec une vitesse d'écoulement telle qu'il soit sur le point de passer du régime calme au régime turbulent : c'est là la donnée physique essentielle (fig. 7).

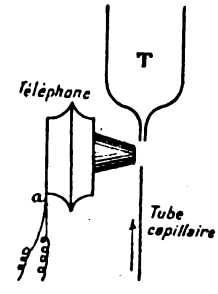


Fig. 7.

L'orifice étroit d'un large tube T se présente à quelques centimètres au-dessus de l'ajutage téléphonique et dans l'axe du jet gazeux capillaire. Ce tube T est relié, soit à un pavillon, soit à une capsule fermée par une membrane.

Lorsque le téléphone résonne, même très faiblement, il produit des perturbations dans le jet gazeux, qui se manifestent par un son assez intense, lorsque le tube T est relié à un pavillon.

La pression moyenne dans la capsule baisse brusquement dès que le téléphone résonne : un levier d'aluminium, dont la petite branche s'appuye sur la membrane, a un moment d'inertie suffisant pour être insensible aux vibrations mais assez petit pour obéir aux variations de pression. La grande branche porte une plume pour l'inscription des signaux.

Le dispositif est intéressant : il est entièrement mécanique. Je l'ai cité, à la suite des appareils Gulstad et Blondel, pour donner un nouvel aspect des phénomènes de résonance et à l'occasion du relais Orling, parce que c'est aussi un dispositif hydrodynamique.

J.-B. Pomey,
Ingénieur en Chef des Télégraphes.

(1) J.-B. Pomey ; Le relais Orling à jet. *R. G. E.*, 14 décembre 1918, t. IV, p. 899.

Digitized by Google

Revues, analyses et informations

Exploitation accélérée sur les longs câbles sous-marins (1).

Depuis longtemps déjà les techniciens, chargés du service des câbles, se sont efforcés d'accroître la vitesse de transmission sur les longs câbles sous-marins, pour faire face aux exigences d'un trafic en accroissement. On sait que la vitesse de transmission sur les câbles dépend du produit CR de la capacité totale par la résistance totale et elle lui est inversement proportionnelle. Pour atteindre donc une grande vitesse, il faut que le produit CR soit aussi faible que possible. C'est ce qu'on obtient sur les longs câbles, en employant dans leur fabrication une quantité de cuivre relativement considérable. Par exemple, dans les nouveaux câbles transatlantiques, le poids de l'âme en cuivre est de 500 à 600 livres par mille. En dehors du produit CR, le rapport $R : C$ joue aussi un certain rôle ; notamment en ce qui concerne la forme des signaux. De plus, la construction des appareils récepteurs et la tension et la pile employée ont aussi de l'influence.

Sur presque tous les longs câbles sous-marins, c'est le siphon recorder de lord Kelvin qui est employé. L'appareil a subi, dans ces dernières années, certains perfectionnements, relatifs au mode de suspension et à la mobilité de la bobine réceptrice qui ont amélioré le rendement. On a aussi amélioré les signaux d'arrivée en augmentant la tension, grâce à un montage particulier de l'appareil récepteur et à l'emploi de bobines de self-induction. On a pu atteindre ainsi une plus grande vitesse. Mais tous ces petits perfectionnements n'ont pas permis d'obtenir une vitesse de transmission notablement plus grande, parce que l'amplitude des signaux devient trop faible dès que la rapidité dépasse une certaine limite. C'est ce qui fait que les signaux ne sont plus bien lisibles quand on emploie des courants de polarité alternée se suivant à de très petits intervalles de temps.

C'est en 1909 que les ingénieurs anglais Brown et Dearlove ont essayé d'introduire une accélération du trafic sur quelques câbles de l'Eastern Telegraph Compagnie, en améliorant la forme des signaux d'arrivée au moyen du relais de câble à tambour qu'ils avaient imaginé et d'une bobine particulière associée à une bobine de self-induction. Mais la tentative ne paraît pas avoir eu un succès durable ; en tout cas, on n'a pas depuis lors entendu dire que ce système fût en service sur un câble quelconque.

Appareil Heurtley. — Mais récemment l'électricien anglais Heurtley a obtenu un meilleur résultat avec son amplificateur. Il a réussi, au moyen de cet appareil, à accroître de 40 à 50 pour 100 la vitesse de transmission sur quelques câbles exploités en duplex par la méthode du « double block » de Muirhead.

L'amplificateur a, dans son ensemble, la forme du siphon recorder, mais sans le dispositif d'encrage et sans le moteur d'entraînement du papier. Dans l'amplificateur, de même que dans le siphon recorder, il y a une bobine extrêmement mobile, suspendue dans un champ magnétique, elle peut subir un déplacement de rotation sous l'action du courant d'arrivée. Ce mouvement est transmis, non plus comme dans le recorder, à un siphon de verre, mais par l'intermédiaire de fibres de quartz, extrêmement ténues, à un petit tube de verre, traversé par un petit fil de bronze.

Le petit tube de verre n'a d'autre raison d'être que de donner au fil de bronze la rigidité nécessaire. Les mouvements du petit tube de verre actionnent un siphon recorder placé dans un circuit local et ce siphon reproduit, agrandis, les signaux d'arrivée. Voici comment ce résultat est rendu possible.

L'un des bouts, le bout inférieur du fil de bronze qui traverse le petit tube de verre, est soudé au milieu d'un fil platine-argent à la Wollaston, extrêmement fin, assujetti entre les points B B_1 et isolé.

La figure 1 montre la suspension de la bobine ainsi que

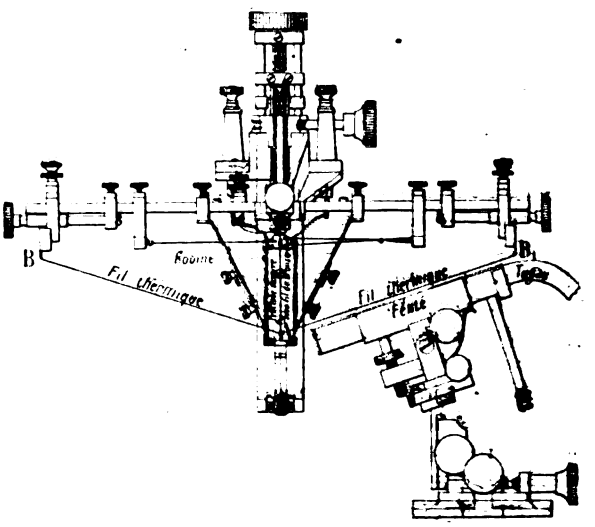


Fig. 1.

les points de fixation du petit tube de verre et du fil platine-argent. Les points B B_1 sont reliés en permanence à une pile de 36 v. de sorte que le fil de platine est assez fortement échauffé. Le fil de platine, que désormais nous appellerons le thermique, est relié à deux résistances réglables W et W, qui forment avec les deux branches du thermique un pont de Wheatstone (fig. 2).

Les deux branches du thermique ont chacune de 80 à 85 ohms de résistance, les deux résistances W sont chacune de 600 ohms. Les valeurs des résistances peuvent être modifiées par des shunts et adaptées aux circonstances.

Il y a d'ailleurs aussi un milliampèremètre intercalé dans le circuit, pour servir au réglage de l'intensité dans le pont.

L'une des diagonales du pont est la branche de pile, avec la batterie de 36 v ci-dessus mentionnée, intercalée entre les points B B_1.

L'autre diagonale est un siphon recorder.

La bobine de l'appareil est donc reliée, d'un côté, au point de jonction des deux résistances (C), d'autre part, à l'autre extrémité du fil de bronze ci-dessus mentionné.

(1) Luers, Ober-Telegraphen sekretär in Emden. *Archiv für Post und Telegraph.*

Digitized by Google

Au-dessous du thermique sont disposés deux tuyaux refendus, auxquels on amène en permanence de l'air frais. Les tuyaux sont fermés à leur extrémité inférieure (sur la figure 1 on n'a représenté qu'un tuyau). Le courant d'air frais est produit par un ventilateur électrique, qui comprime l'air dans un récipient. L'air en sort par deux tubes de caoutchouc. Ces tubes le conduisent aux deux tuyaux refendus qui doivent être placés, de façon que les fentes soient juste au-dessous des fils; L'air frais afflue ainsi par les fentes sur les thermiques et les refroidit. Tant que les fils sont également refroidis, le rapport des résistances dans les deux fils reste invariable, de sorte que l'équilibre du pont de Wheatstone n'est pas troublé. Mais si la bobine de l'amplificateur est mise en action par le courant d'arrivée,

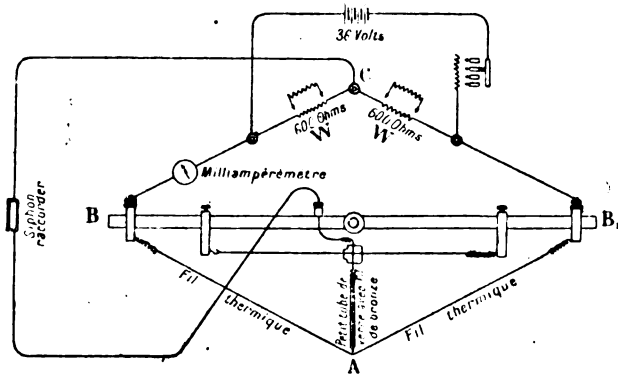


Fig. 2.

alors le petit fil de bronze avec son tube de verre se déplace et avec lui aussi les deux thermiques.

Par suite de ce déplacement, ces fils sortent de la veine d'air frais. Les fentes des tuyaux ne sont pas disposées exactement dans le même plan, mais en retrait l'une sur l'autre, de telle façon que, quand la bobine se déplace, suivant que le courant est dans un sens ou dans l'autre, c'est l'un ou l'autre des thermiques qui sort le plus du champ du courant d'air. Par suite, les deux thermiques ne sont plus alors refroidis également.

Il en résulte que le rapport des résistances des branches du pont est modifié ; l'équilibre est détruit. Un courant circule dans le recorder placé dans l'autre diagonale et l'actionne. Plus l'échauffement des deux fils est grand, plus grande aussi est la perturbation apportée à l'équilibre du pont et plus grands sont les signaux du recorder.

Mais comme, dans le duplex, quand on agrandit ainsi les signaux, on agrandit en même temps les petites différences dans l'équilibre de la balance, la rapidité de transmission en duplex dépend essentiellement de l'égalité parfaite de la ligne artificielle avec le câble.

La sensibilité, qu'on peut encore utiliser avec l'appareil Heurtley, a donc pour limite naturelle celle qui est compatible avec l'équilibre de la ligne artificielle. En intercalant quelques résistances entre la pile et les thermiques avec un commutateur, on peut régler l'intensité du courant et adapter la sensibilité aux circonstances.

Quand il n'y a pas de résistance en circuit, l'intensité dans les thermiques est de 90 milliampères. Avec cette sensibilité, les déplacements du tube de verre traversé par le fil de bronze éprouvent une amplification du décuple. Les déplacements de la bobine de l'amplificateur ne sont qu'à peine visibles avec les yeux ; malgré cela, les signaux sont si grands au recorder qu'ils occupent presque toute la largeur de la bande.

Le tracé de la figure 3 permet de se rendre compte de l'amplification des signaux due au dispositif Heurtley. En a, on voit les signaux obtenus directement au recorder avec une vitesse de 190 lettres à la minute (câble Emden-Vigo). En b, on voit les mêmes signaux, à la même vitesse, après intercalation de l'amplificateur. Les signaux a obtenus directement avec le recorder ne sont plus admis-

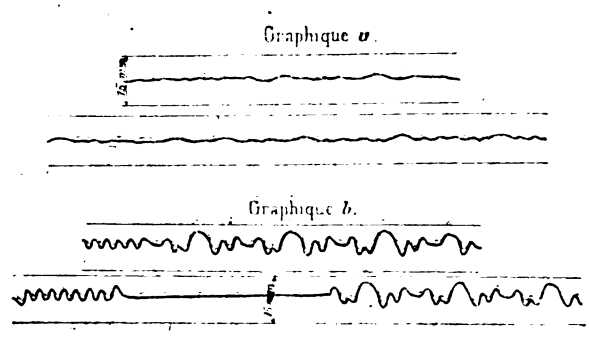


Fig. 3.

sibles pour la réception télégraphique tandis que les signaux b sont encore très lisibles.

On peut aussi changer la sensibilité en augmentant ou diminuant l'arrivée d'air ; il suffit de tourner les robinets qui sont adaptés à l'entrée des tubes.

Comme dans le recorder ordinaire, on doit naturellement aussi, avec l'amplificateur, s'efforcer d'obtenir la meilleure forme des signaux en réglant convenablement la balance réceptrice, et en intercalant des bobines d'induction et des résistances. Il faut aussi régler le recorder pour lui faire donner la plus grande vitesse.

Il est très agréable de constater qu'avec l'amplificateur il n'y a pas de contact, comme c'est généralement de règle avec les appareils qui ont pour objet de fermer un circuit local. A ce point de vue, l'amplificateur a d'importants avantages sur le relais à tambour, dans lequel la languette de l'armature, qui est aussi un petit tube de verre traversé par un fil de bronze, frotte d'une façon continue sur un tambour en rotation pour fermer le circuit local.

Il faut un grand soin dans la fixation des thermiques et dans l'ajustage des tuyaux refendus, car l'efficacité du dispositif en dépend essentiellement. Les tubes sont réglables dans tous les sens, afin que les thermiques, dans leur position de repos, soient autant que possible sur toute leur longueur dans la veine d'air froid.

C'est avec la plus extrême prudence qu'il faut procéder à la soudure du fil de platine argenté avec le fil de bronze (point A, fig. 1).

Dans sa forme habituelle, le fil de platine argenté n'est pas utilisable, en partie parce qu'il n'est pas assez résistant, en partie parce que le petit tube de verre n'a pas assez de force pour entraîner avec lui le fil platine-argent, quand il est déplacé d'un côté ou de l'autre par le courant d'arrivée. Pour alléger le fil et augmenter sa résistance électrique, on n'enlève la couche d'argent à l'acide azotique qu'après avoir fait la soudure. On opère ainsi : on verse quelques gouttes d'acide azotique sur une petite feuille d'aluminium convenablement repliée et on la promène lentement le long du fil. Il faut ne pas humecter les points de soudure après avoir enlevé la couche d'argent. Le fil est devenu si

Digitized by Google

mince et si léger qu'il peut suivre à coup sûr les mouvements du petit tube de verre. La résistance est aussi notablement augmentée, de sorte que l'élévation de température devient suffisante.

Il est extrêmement important de ne pas ébranler l'amplificateur en le touchant, parce que le plus petit ébranlement, ne serait-ce que le souffle le plus léger sur le petit tube de verre, suffit à déplacer les thermiques.

Il ne faut pas non plus exposer l'amplificateur à des courants trop forts qui causeraient un mouvement de la bobine susceptible d'amener la rupture aussi bien des fils de quartz que des thermiques. Quand il y a des orages, il faut donc mettre l'amplificateur hors circuit; ils produisent déjà souvent des élongations très fortes du siphon dans le recorder ordinaire.

L'amplificateur est déjà depuis quelques mois en service sur le câble Emden-Vigo et son fonctionnement aussi bien à Vigo qu'à Emden a été très sûr. A l'aide de cet appareil, la vitesse d'exploitation en duplex sur le câble a été de 135 à 190 lettres à la minute, c'est-à-dire qu'elle a été augmentée de 40 pour 100 dans les deux sens.

D'après les essais effectués jusqu'ici, on peut admettre que l'appareil a un grand avenir dans la technique des câbles. En tout cas, il contribuera à augmenter d'une façon importante la capacité de trafic des câbles sous-marins qui sont si coûteux. J.-B. P.

Porte-balai pour balais au charbon (1).

Il n'est pas nécessaire de rappeler l'importance des porte-balais pour les moteurs et les dynamos. Ils constituent un de ces détails, fréquemment négligés, qui conduisent à un bon ou à un mauvais fonctionnement. Des moteurs d'une conception excellente sont souvent équipés avec de mauvais porte-balais et la machine toute entière est rendue défectueuse par l'imperfection de ce détail.

On pourrait penser que, grâce à l'expérience acquise par les constructeurs et grâce aux centaines de milliers de machines en fonctionnement, les caractéristiques d'un modèle type ont été dégagées. En réalité, il n'en est rien, encore que l'auteur soit incliné à penser qu'il y ait tendance à graviter autour du type ci-dessous décrit, qui est actuellement utilisé depuis quelques années.

Pendant les huit ou neuf dernières années, plusieurs milliers de ces porte-balais ont été fournis par la Westminster Engineering Co pour tous les genres de machines, depuis les grands turbo-dynamos et les turbo-alternateurs jusqu'aux petits moteurs, sans que l'auteur ait eu connaissance d'un seul cas où ils aient été défectueux.

On peut les construire pratiquement, pour toute machine, mais par suite du manque d'unification, ils ne peuvent être vendus suivant des dimensions étalons, et on doit les construire spécialement pour chaque usage déterminé. Les seules dimensions à fournir pour chaque machine particulière sont : le diamètre des broches des balais la distance du centre de la broche à la surface du collecteur, le nombre des porte-balais requis et les dimensions du charbon.

Les porte-balai doivent être aussi rapprochés que possible du collecteur, de manière que les balais se projettent à 3 mm environ. Avec les anciens modèles de porte-balais oscillant autour d'un axe, les étincelles étaient fréquentes; on court beaucoup moins de risques avec les modèles représentés ci-dessous, le balai n'étant que légèrement en avance sur la broche.

Le balai est maintenu en contact intime avec le collecteur par le ressort enfermé dans l'écrou tubulaire. Une légère pression est nécessaire pour éviter toute tendance au cahotage, même quand le collecteur est légèrement désaxé, condition fatale pour la plupart des balais. Les porte-balai doivent être vérifiés de temps à autre pour s'assurer que le balai se meut librement dans son support.

La figure 1 représente le modèle ordinaire de porte-balais pour moteurs ou dynamos. La pression est appliquée directement sur le centre du balai au moyen d'un ressort spiral à l'intérieur du plongeur, qui glisse lui-même dans

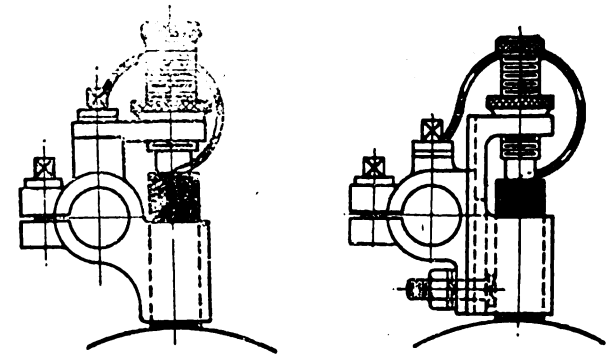


Fig. 1 et 2. — Porte-balai pour moteurs et dynamos.

l'écrou. Le ressort est ainsi entièrement enfermé et la pression s'exerce dans une direction coïncidant avec l'axe du balai.

La figure 2 représente un porte-balai analogue, mais avec une partie du support réglable, pour permettre l'usure du collecteur. Le plongeur peut être fixé dans la position voulue au moyen d'un écrou et d'un ressort et peut être descendu à volonté.

La figure 3 représente un modèle plus robuste de porte-

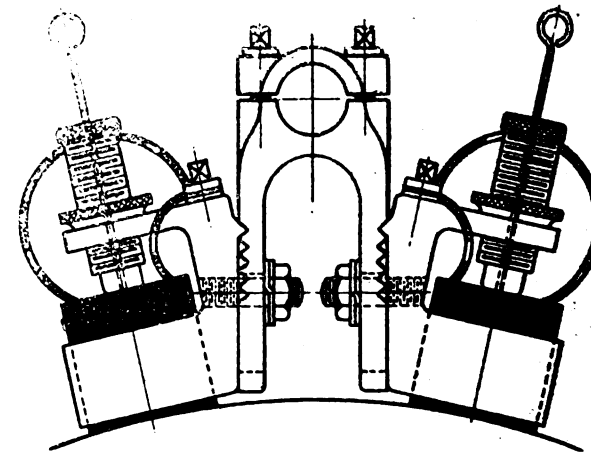


Fig. 3. — Porte-balai robuste pour turbo-générateur.

balai construit pour les turbines. La tige passant dans l'écrou de réglage et le ressort permet de mesurer avec précision la tension du ressort. Le plongeur est généralement en acier doux.

(1) J.-O. Girdlestone. *Electrical Review*, Londres, 10 janvier 1919, t. LXXXIV, p. 53-54, 4 fig.

Digitized by Google

Sur la figure 4 on a représenté le modèle utilisé pour les bagues collectrices à courant alternatif; il est également à réglage vertical. Ce modèle a été appliqué à un certain nombre de machines qui utilisaient antérieurement des

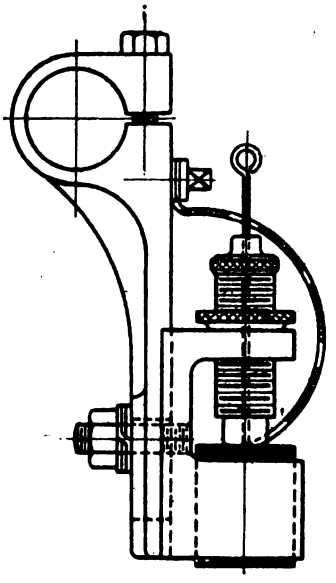


Fig. 4. — Porte-balai pour bagues collectrices à courant alternatif.

balais en cuivre et a donné des résultats satisfaisants. On emploie généralement, dans ce cas, un balai en cuivre et charbon.

A. B.

L'emploi de l'électricité dans les mines d'anthracite (1).

La production d'anthracite aux Etats-Unis pendant les cinq dernières années a été la suivante :

Années.	Tonnage brut total.
1913	81 809 000
1914	81 580 000
1915	79 803 000
1916	78 406 000
1917	89 720 000

Les gisements non exploités sont en grande partie en la possession des producteurs importants, de sorte que fort peu de mines nouvelles ont été ouvertes dans ces dernières années. Dans les bassins de charbon bitumineux, au contraire, il y a beaucoup de propriétaires indépendants, et lorsque l'industrie houillère prospérait, beaucoup de compagnies nouvelles se formaient, mettaient en exploitation de nouvelles mines et y appliquaient la commande électrique, surtout en raison du moindre prix de revient qu'exigeait l'installation du matériel. Le résultat économique était tel que les anciennes mines, exploitées à la vapeur, se trouvaient contraintes à s'électrifier, même lorsqu'il était nécessaire de mettre au rebut un matériel à vapeur coûteux.

(1) J.-B. Crane. Communication présentée à l'American Institute of Electrical Engineers, le 11 octobre 1918. *Proceedings of the A. I. E. E.*, t. xxxvii, octobre 1918, p. 1197-1203.

Voici quelques résultats relatifs à des mines de charbon électrifiées :

	Exploitation à la vapeur. avril 1914 à avril 1915.	Exploitation à l'électricité. nov. 1916 à nov. 1917.
Coût de l'énergie produite.	235 000 fr	108 000 fr
Coût du chauffage.....	compris dans le chiffre ci-dessus	43 500
Total.....	235 000 fr	151 500 fr
Tonnage de charbon extrait.	343 695 t	435 073 t
Prix de revient par tonne..	0,685 fr	0,348 fr

Si l'on se rappelle que la valeur du charbon brûlé dans l'exploitation à vapeur a plus que doublé et que la quantité de charbon extraite par homme et par an est passée de 540 t à 647 t, on comprendra que les chiffres ci-dessus, tout significatifs qu'ils sont, ne représentent qu'une partie de l'économie réalisée.

Voici d'autres chiffres intéressants relatifs au prix de revient de l'électrification, à l'énergie consommée, etc.

	Mine n° 1.	Mine n° 2.
Tonnage brut annuel.....	641 533	670 000
Energie consommée en kw-h...	2 312 195	3 477 876
Puissance en kilowatt.....	870	1 135
Facteur de charge annuel.....	30,4	35
Kilowatt-heure par tonne extraite	3,6	5,2
Kilovolt-ampère des transformateurs installés.....	2 000	3 500
Chevaux installés.....	2 400	2 535
Coût de l'électrification..... fr.	672 000	1 625 000
Coût par cheval installé.... fr.	279	640
Pourcentage des kilowatts-heure de pompage.....		50
Profondeur moyenne de la mine.	198 m	244m

La mine numéro 2 avait une installation de chaudières de 800 ch, consommait 900 t de charbon par mois et a pu affecter onze hommes à d'autres travaux. L'extraction sera grandement augmentée cette année, car le capital ci-dessus comprend un matériel supplémentaire, non encore en activité.

Il n'y a pas de pompage à la mine numéro 1, ce qui explique la faible quantité d'énergie par tonne extraite.

Les chiffres réunis par l'auteur indiquent qu'une dépense de 12 kw-h par tonne brute extraite est la valeur moyenne pour une mine d'anthracite. Cette valeur varie d'ailleurs largement selon la profondeur de la mine, la quantité d'air nécessaire à la ventilation, la quantité d'eau à pomper et la hauteur de refoulement et le travail nécessaire pour la préparation du charbon. D'autre part, les données recueillies, il y a trois ans, dans plus de cinquante mines de charbon bitumineux ont montré que la dépense moyenne en kilowatt-heure par tonne brute extraite était 3,57.

La faiblesse relative de l'énergie requise pour l'extraction du charbon bitumineux est due à différentes causes, parmi lesquelles on peut mentionner :

Profondeur de la mine. — Les mines de charbon gras sont dans bien des cas situées à flanc de coteau, de sorte que le charbon est amené à la surface par des voies en palier, et de ce point est déchargé dans les wagonnets par pesanteur tandis que la profondeur des mines d'anthracite varie de 100 m à 300 m environ, et il faut élever tout le charbon jusqu'à la surface et de là au concasseur.

Digitized by Google

Pompage de l'eau. — Les mines d'anthracite ont plus d'eau à épuiser et cette eau doit être refoulée du niveau le plus bas de la mine.

Ventilation. — Bien qu'il y ait moins d'éléments volatils dans l'anthracite, il y a généralement plus de gaz à évacuer de la mine et de plus il faut ventiler aussi l'espace supplémentaire représenté par les puits, etc.

Préparation. — Le concasseur de la mine d'anthracite demande plus de puissance, les fragments de charbon anthraciteux étant plus gros que ceux de charbon gras.

Dans une mine d'anthracite qui a eu des compteurs installés pour ses différents services pendant un an, on a relevé les chiffres moyens suivants :

Travail.	Kilowatts-heure par tonne brute de charbon extraite.
Roulage	1,73
Ventilation	1,62
Epuisement des eaux	1,30
Eclairage	0,12
Extraction	1,03
Compresseur d'air	2,11
Concasseur	4,75
	12,65

Cette mine a produit 558 000 tonnes dans l'année. Si l'on admet 12 Kw-h par tonne d'anthracite extraite, il aurait fallu en 1917, si tout l'anthracite avait été produit électriquement	1 076 652 000	Kw-h
On a réellement utilisé en 1918, dans les mines d'anthracite électrifiées	215 000 000	
Kw-h totaux nécessaires pour produire le reste de l'anthracite par l'électricité	861 652 000	
Aujourd'hui, on emploie 10 p. 100 du charbon produit à fournir l'énergie nécessaire pour extraire le reste. Il y a des cas très défavorables : c'est ainsi que dans une houillère on brûle 400 tonnes dans les chaudières pour chaque millier de tonnes expédié. Donc pour produire les 89 720 000 tonnes d'anthracite extraites en 1917, on a brûlé dans les chaudières	8 972 000	tonnes
Dans les grandes centrales, on peut produire 1 Kw-h avec 1,13 Kg d'anthracite menu (1,13 × 861 650 : 1,016) (1)	965 000	
Il resterait pour la vente	8 007 000	tonnes

(1) On divise par 1,016, parce que les tonnes dont il est question ici sont de 1 016 kg.

Dans une houillère, 2,5 pour 100 des hommes ont été rendus disponibles par l'électrification. On emploie dans la région de l'anthracite, 150 000 hommes. Si 2,5 pour 100 d'entre eux deviennent disponibles, cela fait un total de 3 750 hommes supplémentaires, qui seraient employés à extraire le combustible. Chaque homme produit 550 t par an, de sorte qu'on obtiendrait un supplément de

$$550 \times 3\,750 = 2\,062\,500 \text{ t.}$$

Le supplément de charbon obtenu par l'électrification totale serait donc

$$8\,007\,000 + 2\,062\,500 = 10\,069\,500 \text{ t.}$$

Le prix de revient de cette production supplémentaire peut s'évaluer ainsi :

Energie supplémentaire en Kw-h	861 652 000	
A 40 pour 100 de facteur de charge, ceci représente une puissance électrogène installée de	394 000	Kw
Prix de l'installation à 375 fr par Kw	148 000 000	fr
Lignes de transmission et de distribution, 400 Km à 15 000 fr	6 250 000	
Sous-stations et installations minières, 900 000 ch à 200 fr par ch	180 000 000	
L'économie réalisée serait de 10 069 500 tonnes de charbon à 10 fr par tonne	100 695 000	
Réduction des frais d'entretien, 0 fr 35 par tonne, portant sur 70 millions de tonnes.	24 500 000	
	125 195 000	fr
870 millions de Kw-h (861 652 000 plus les pertes) fournis à la mine au tarif de 0,055 fr	47 850 000 fr	
Dépréciation de 5 p. 100 sur un capital de 180 000 000	9 000 000	56 850 000
	56 850 000	72 745 000

Ceci représente 38 pour 100 sur un capital immobilisé de 180 millions de francs.

Actuellement les Compagnies minières ont d'amples moyens financiers et installent aussi rapidement que possible des machines mues électriquement, pour accroître la production et diminuer les sommes à payer pour salaires. Elles ne peuvent en ce moment se procurer le matériel nécessaire pour constituer des usines génératrices, et, d'autre part les Compagnies de distribution sont dans l'impossibilité de leur fournir l'énergie nécessaire, ne pouvant obtenir de capitaux pour augmenter leurs moyens de production (1). — P. L.

(1) Cet article a été remis le 12 août 1918 (N. D. T.)

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Revues, analyses et informations

Offices commerciaux français à l'étranger.

Dans ces derniers temps les Pouvoirs publics ont créé dans un certain nombre de centres commerciaux de l'étranger des Offices français en relations étroites avec l'Office national du Commerce extérieur et ayant pour but de développer nos relations commerciales. Le Ministère du Commerce, sous le patronage duquel se trouvent placés ces Offices commerciaux, vient de publier à leur sujet une notice que nous reproduisons ci-dessous.

Création et but des offices. — Il s'en faut de beaucoup que les maisons françaises qui font l'exportation aient toutes, dans les places où elles envoient leurs articles ou produits, des représentants attitrés. La sollicitude des Pouvoirs publics a songé à celles qui en manquent et qui sont le plus grand nombre. A plusieurs reprises des vœux et motions du Parlement ont demandé que des institutions commerciales fussent, dans la plupart des pays d'exportation, à la disposition des commerçants et industriels français qui n'y ont pas d'agences spéciales. Le département des Affaires étrangères et celui du Commerce n'ont eu garde de laisser tomber ce vœu. L'initiative par laquelle ils y ont répondu, c'est la création successive d'*Offices commerciaux* dès maintenant au nombre de dix.

Leur objet général est, selon les cas :

De remplacer ces représentants qualifiés ;

De présenter au commerce local des séries d'articles ou des échantillons ;

D'en procurer aux maisons qui en demandent ;

De fournir des renseignements commerciaux de diverse nature aux chefs de maison et aussi aux voyageurs de commerce en tournée, enfin d'aider ceux-ci, dans leur mission, par tous les moyens possibles.

Offices créés. — Les Offices en plein fonctionnement sont :

Pour la *Suisse*, à Zurich ; directeur : M. Armand Roos, 73, Bahnhofstrasse.

Pour la *Grande-Bretagne*, à Londres ; directeur : M. Hauvette, 153, Queen Victoria street.

Pour l'*Espagne*, à Madrid ; directeur : M. Carlos Dubois, 18-20, Calle del Principe. (Adresser correspondance, à Hendaye, Basses-Pyrénées). A Barcelone, directeur : M. Robin, adresser correspondance : Office National du Commerce extérieur, 3, rue Feydeau, à Paris.

Pour les *Pays-Bas*, à Amsterdam ; directeur : M. Georges Glaser, provisoirement : Office National du Commerce extérieur, 3, rue Feydeau, à Paris.

Pour l'*Italie*, à Rome ; directeur : M. Servant, provisoirement, 22, Piazza della Pignat.

Pour le *Levant* : directeur, M. Grandguillot.

Cet office organise, en ce moment, des succursales à Alexandrie, au Caire, Beyrouth, Smyrne, Constantinople, Salonique, Athènes. Renseignements à son bureau de Paris, Office National du Commerce extérieur, 3, rue Feydeau.

Pour la *Roumanie*, à Bucarest : directeur, M. Sarret. Renseignements provisoirement, à l'Office National du Commerce extérieur, 3, rue Feydeau, à Paris.

Pour la *Russie* : directeur, M. Cottavos. Renseignements provisoirement, à l'Office National du Commerce extérieur, 3, rue Feydeau, à Paris.

Pour l'*Australie* : directeur, M. Bader. Renseignements provisoirement, à son bureau, Office National du Commerce extérieur, 3, rue Feydeau, à Paris.

Pour la *Suède*, à Stockholm. Il existe un bureau commercial qui va être transformé en Office commercial français.

Offices en préparation. — Les Offices Commerciaux Français des pays ci-dessous sont à l'étude :

États-Unis, Brésil, Argentine, Norvège, Danemark.

Personnel des Offices. — Les Offices sont composés d'un personnel pris de préférence dans le monde des affaires et choisi en raison non seulement de son aptitude à l'activité, mais aussi de son habitude constatée et connue de provoquer des ventes, de reussir des démarches, de réaliser des offres et en raison encore de sa connaissance particulière de chacune des places où il opérera et de la langue qu'on y parle.

Présentations. — Ils organisent, dans des locaux agencés à cet effet, des présentations successives d'articles d'une même catégorie visant une même clientèle.

Ces expositions-ventes durent ordinairement une semaine, quelquefois plus.

On n'admet comme acheteurs *que les commerçants* de l'endroit. Cependant, après qu'ils ont fait leurs choix et leurs achats ou commandes, le public peut, pendant deux ou trois jours, examiner, sans acheter, les articles exposés, qui profitent par là d'une excellente publicité à l'avantage des maisons acheteuses. On a observé d'ailleurs que la vente exclusive au commerce est le moyen d'éviter l'hostilité du négoce local et aussi de réaliser les ventes les plus importantes. Des manifestations de ce genre organisées à Zurich pendant la guerre ont eu un très rapide et très grand succès.

Aide prêtée aux représentants. — Un autre mode de procéder, qui convient mieux à certains producteurs, consiste à prendre, pour leurs représentants, avec le commerce local, des rendez-vous dont on les avertit suffisamment à l'avance et pour lesquels ils trouvent des bureaux ou salles commodes et agencés.

En général, sur toute demande, les Offices aident les voyageurs de commerce en les renseignant abondamment et même en les introduisant dans les maisons qu'ils ont intérêt à voir. Cela exclut tout soupçon de concurrence

Digitized by Google

entre ces organismes et la représentation particulière des grandes maisons françaises.

Pour procurer des représentants sur place aux maisons qui en manquent et en cherchent, les Offices choisissent parmi les vendeurs bien au courant de la clientèle, de ses habitudes, de ses exigences, des usages locaux.

Informations spéciales. — De plus, les Offices procurent aux exportateurs français, directement, tous renseignements d'ordre commercial en usant, au fur et à mesure, des moyens habituels et en complétant, en éclairant cette documentation de circonstance par leur information déjà acquise.

Etude de la concurrence. — En particulier ils tiennent les producteurs français au courant des tentatives ou des perfectionnements de la concurrence étrangère, en indiquant les prix des articles, les conditions de vente, la liste des acheteurs ordinaires et la consommation approximative du marché. Ils étudient même, dans la mesure du possible, les méthodes et les produits des concurrents, leurs matières premières, leur fabrication, leur prix de revient, leurs procédés de présentation et de vente, etc.

Renseignements de notoriété. — Ils peuvent se substituer aux commerçants qui s'adressent à eux pour obtenir auprès des autorités françaises, consulats, services économiques, etc., des renseignements sur l'honorabilité et la nationalité des acheteurs.

Surveillance des litiges. — Enfin ces mêmes organismes font leur possible pour surveiller le réglement de tous les litiges résultant des ventes faites avec leur concours ou par leur intermédiaire.

Agence des offices a l'office national du commerce extérieur. — Tous les Offices ont leurs bureaux correspondants et leur agence de la métropole à l'office National du Commerce Extérieur à Paris qui, tout en profitant de leurs communications, leur donne, au besoin, des directions, leur ouvre des sources d'informations, leur prête son appui auprès des pouvoirs publics et grandes administrations, enfin permet à chacun de profiter des heureuses idées mises en œuvre dans tous les autres.

Utilité prouvée. — Cette organisation, conçue entièrement au point de vue pratique, a fait ses preuves. Le chiffre d'affaires françaises faites dans les quelques places où existaient déjà des Offices a été notablement accru. Grâce à eux des producteurs qui hésitaient encore à tenter l'exportation y ont pris goût. Ce qui manquait c'était un nombre suffisant d'Offices dans les divers pays de grand commerce. Le département du Commerce et de l'Industrie comble cette lacune au moment opportun en multipliant ces foyers d'exportation commodes et attractifs, auxiliaires puissants de la grande reprise des affaires qui est, pour le prochain avenir de la France, la principale ressource.

Assemblées générales

Société générale de Forces motrices et d'Eclairage de la ville de Grenoble.

Assemblée générale ordinaire du 30 avril 1919.

Les recettes ont atteint le chiffre de 622 685,45 fr en augmentation de 3837,12 fr sur celles de 1917. En y ajoutant les indemnités accordées par la Ville et par la Compagnie électrique de la Loire et du Centre, le total atteint 648 181,01 fr. Par contre, les dépenses ont été de 444 783,50 fr. Les bénéfices nets atteignent 203 397,51 fr; en y ajoutant le report de 1917, on obtient un solde disponible de 207 727,92 fr. Sur ce solde, il est prélevé 59 819,83 fr pour amortissements, 12 178,90 fr pour réserves. Un dividende de 6 pour 100 est distribué aux actions de priorité, soit 30 fr bruts, payables en deux fois le 1er juin (coupon n° 22) et le 1er décembre (coupon n° 23).

Le report à nouveau est de 9 729,19 fr.

Bilan au 31 décembre 1918.

Actif.

	fr
Entreprise d'éclairage de la Ville de Grenoble...	723 165,99
En caisse...	575,45
En banque...	259 035,73
Abonnés et débiteurs divers...	230 782,84
Ville de Grenoble (somme avancée à la Ville)...	1 905 376,15
Terrains et chutes...	304 541,40
Immeubles industriels...	300 148,60
Installations hydrauliques...	2 003 713,64
Usine de Pont-Haut...	471 951,23
Petit matériel et outillage...	6 033,16
A reporter...	6 205 324,19

		fr
Report...		6 205 324,19
Lignes de transport d'énergie...		306 695,69
Mobilier...		2 353,35
Marchandises en magasin...		564,20
Impôts sur actions...		22 148,61
Portefeuille...		1 000 »
Frais de constitution...		277 619,13
Frais de premier établissement...	719 439,18	
Amortissement 1917...	255 310,18	
Amortissement 1918...	24 030,65 279 340,83	440 098,35
Frais d'émission...		263 485,45
Prime de remboursement des obligations...		197 200 »
Frais de transformation...		454 853,77
Réfection de la ligne de Livet...		87 210,04
		8 258 552,98

Passif.

	fr
Capital-actions :	
Actions de priorité...	2 100 000 »
Actions ordinaires...	1 375 000 »
Obligations :	
Capital initial... 5 300 000 »	
Amortissement... 1 356 000 »	3 944 000 »
Créanciers...	207 015,13
Coupons à payer...	172 235,48
Obligations à rembourser...	72 450 »
Réserve légale...	93 664,98
Réserve spéciale...	86 459,47
Profits et pertes, report de l'exercice 1917...	4 330,41
Bénéfices bruts de l'exercice 1918...	203 397,51
	8 258 552,98

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN - Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF :
Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 23. — 7 JUIN 1919.

Chronique. — La journée de huit heures dans les entreprises de distribution d énergie électrique de la région parisiennne. — Un nouvel aspect du problème de la fixation de l'azote de l'air. — Bibliographie : Vers la Houille blanche, Motoculture et Electro-motoculture, par Albert TURPAIN ; Les applications de la Physique pendant la guerre, par H. VIGNERON ; Origine et évolution de la soufflerie, par Ch. FRÉMONT.

Section scientifique et technique. — Méthode d'analyse expérimentale des propriétés des alternateurs, par A. BLONDEL et F. CARBENAY, p. 811. — Revues, analyses et informations : Sur une modification à la méthode fluorométrique de mesure des rayons X, et son application à la mesure du rayonnement des ampoules Coolidge, p. 819.

Section industrielle. — A travers les usines lorraines dévastées ; les installations électriques de Pont-à-Mousson, par Auguste PAWLOWSKI, p. 821. — Installations hydro-électriques de grande puissance en courant continu, par P. BUNET, p. 822. — Sur le captage et utilisation de la puissance des marées, par E. MAYNARD, p. 827. — Notes pratiques : Sur l'amélioration du facteur de puissance, par A. SOULIER, p. 831 ; Comment on travaille l'aluminium, p. 882.

Section économique et financière. — Importations et exportations françaises, par Désiré PECTOR, p. 833. — Revues, analyses et informations : Les richesses minérales du Massif breton, p. 835. — Assemblées générales : Société avignonnaise d'Electricité, p. 838 ; Société des Forces motrices de la Vis, p. 837 ; Société nimoise de l'Electricité, p. 839 ; Compagnie des Tramways électriques de Limoges, p. 840 ; Société des Forces motrices de la Haute-Durance, p. 840.

La journée de huit heures dans les entreprises de distribution d'énergie électrique de la région parisienne. — On nous communique, au moment de mettre sous presse, le texte de l'accord qui vient d'être conclu entre le Syndicat patronal et le Syndicat ouvrier des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. Nos lecteurs trouveront la reproduction de ce texte à la page 115B du « Bulletin R. G. E. » de ce numéro.

Un nouvel aspect du problème de la fixation de l'azote de l'air. — A l'origine, c'est-à-dire il y a une quinzaine d'années, ce problème intéressait particulièrement les électriciens, le seul procédé de fixation en usage pratique consistant dans l'oxydation de l'azote au moyen de l'arc électrique. Un peu plus tard lorsque Frank et Caro préconisèrent la fixation sous forme de cyanamide calcique et plus tard encore lorsque Serpek fit connaître son procédé de fabrication du nitrure d'aluminium, il les intéressait encore, la fixation de l'azote étant liée aux industries électrochimiques de la fabrication du carbure de calcium et de l'aluminium métallique. Avec le procédé Haber pour la synthèse de l'ammoniaque par l'azote et l'hydrogène le problème sortait du domaine des applications de l'électricité.

Mais l'ingénieur électricien ne saurait cependant se désintéresser complètement d'un problème parce que sa solution a cessé d'être complètement sous son contrôle ; il est toujours utile d'être renseigné sur l'évolution des procédés concurrents.

C'est en nous plaçant à ce point de vue que nous estimons devoir signaler une note que M. Georges Claude a communiqué à l'Académie des Sciences dans sa séance du 19 mai.

Après avoir rendu indirectement hommage au premier procédé de fixation de l'azote par l'électricité en remarquant que les nitrates sont les plus rationnels des engrais, il fait observer que le seul moyen envisagé jusqu'ici pour l'utilisation par l'agriculture de l'ammoniaque, provenant de la cyanamide ou résultant de sa synthèse directe, est la transformation classique de cet ammoniaque en sulfate d'ammonium. Or ce moyen exige d'énormes quantités d'acide sulfurique, coûteux et dépourvu de toute valeur fertilisante. On s'est bien préoccupé, en Allemagne notamment, de diminuer le coût de cette transformation en empruntant l'acide sulfurique au sulfate de calcium à l'état de gypse ou pierre à plâtre ; mais ce procédé de transformation n'est pas encore passé dans la pratique. M. G. Claude se demande dès lors pourquoi, au sulfate classique, on ne substituerait pas le chlorure d'ammonium, qui, d'après les observations de l'agronome français Georges Ville, ne le cède en rien au sulfate d'ammonium comme pouvoir fertilisant et qui, renfermant à égalité de poids une quan-

Digitized by Google

tité plus grande d'azote, possède ainsi une supériorité bien nette pour les transports.

Cependant si cette suggestion n'avait pour conséquence que de permettre de remplacer l'acide sulfurique par l'acide chlorhydrique, le résultat ne serait que médiocre au point de vue de l'économie générale. Mais on peut faire mieux. On sait que le procédé Solvay de fabrication du carbonate de sodium par double décomposition du chlorure de sodium et du carbonate d'ammonium donne naissance à du chlorure d'ammonium. Actuellement ce chlorure est traité par la chaux pour obtenir de l'ammoniaque qui rentre dans le procédé de fabrication, de telle sorte que le chlorure d'ammonium employé lors de la mise en marche de l'usine peut, théoriquement bien entendu, servir à fabriquer une quantité indéfinie de carbonate de sodium. On voit immédiatement que si, au lieu d'opérer ainsi, on produit par synthèse l'ammoniaque nécessaire à la fabrication du carbonate de sodium, on aura comme sous-produit du chlorure d'ammonium qu'on pourra vendre comme engrais; la transformation de l'ammoniaque de synthèse en sel ammoniacal utilisable par l'agriculture se trouvera dès lors effectuée sans bourse délier et même avec profit : le chlore nécessaire à la transformation étant pris au sel marin et étant jusqu'ici perdu industriellement sous forme de chlorure de calcium.

Cette intéressante suggestion de M. G. Claude, vient justifier l'opinion des chimistes qui voient dans la synthèse de l'ammoniaque la solution d'avenir du problème de la fixation de l'azote de l'air. Aux électriciens d'y répondre par une autre suggestion basée sur les possibilités de l'industrie électrochimique. — J. B.

Bibliographie : Vers la Houille blanche; Motoculture et Electro-motoculture, par Albert Turpain, professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers (1). — Il est devenu banal d'écrire que l'agriculture doit s'industrialiser, qu'elle doit chercher dans le machinisme une compensation à la pénurie de la main-d'œuvre Il faut néanmoins ne pas craindre de l'écrire sans cesse si l'on veut que cette vérité finisse par convaincre les premiers intéressés, les agriculteurs.

C'est dans ce but que notre collaborateur Albert Turpain vient de faire publier la brochure que nous présentons à nos lecteurs.

Les trois premiers chapitres de l'ouvrage sont consacrés à la houille blanche. L'auteur y montre que, grâce à celle-ci, la France, pays agricole, pourrait devenir un des premiers pays industriels si l'on substituait la force motrice hydro-électrique à la force motrice thermique et réservait la houille noire, dont le rendement en énergie motrice n'est que 10 pour 100, à la métallurgie et à l'industrie des matières colorantes.

Avec le quatrième chapitre, M. Turpain entre dans l'application de la force motrice à l'agriculture. Après quelques pages sur les difficultés que présente le recrutement de la main-d'œuvre agricole, il examine le problème de la motoculture, celui de l'industrialisation des travaux de la ferme et de la culture, montre que l'électricité est particulièrement apte à résoudre ces problèmes dans la majorité des cas et préconise l'emploi du moteur à alcool (et non du moteur à essence qui a l'inconvénient d'augmenter le montant de nos importations) dans les cas où le moteur électrique ne saurait être utilisé.

Quelques tableaux se rapportant aux questions envisagées terminent la brochure.

Il est à souhaiter que, dans l'intérêt national, cette brochure soit largement répandue dans les milieux agricoles. Nous espérons qu'après en avoir pris connaissance nos lecteurs contribueront à sa diffusion dans ces milieux.

J. B.

(1) Une brochure, format 20 cm × 13 cm, 76 pages, éditée par Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, Paris (VIe). Prix : 2,50 fr.

Bibliographie : Les applications de la Physique pendant la guerre, par H. Vigneron (1) — La physique, comme du reste la chimie, a joué pendant la guerre un rôle considérable aussi n'est il pas étonnant que leurs applications aient suggéré à quelques-uns de leurs auteurs, et Vigneron est du nombre, l'idée de faire connaître leur rôle dans le grand drame qui vient de se dérouler.

Parmi les applications scientifiques nouvelles que la guerre a suscitées ou auxquelles elle a donné une portée inédite, celles de la physique sont sans doute les plus variées et le plus nombreuses. Ce livre est écrit pour le grand public cultivé et non pour les spécialistes l'auteur a successivement passé en revue les diverses branches de la Physique, et, pour chacune d'elles, il a suivi, toutes les avancées que cette science a poussées dans les nombreux domaines de la guerre : électricité, acoustique, balistique, etc, Pour chaque application nouvelle M. Vigneron a résumé à la fois les principes généraux sur lesquels elle repose et les détails techniques qui lui ont permis de rejoindre la pratique.

On y trouve cités : les projecteurs, les engins éclairants, les télémètres, les sous-marins, etc., et parmi les études qui dérivent de la physique celle de la résistance de l'air, la trajectoire des projectiles, la recherche des obus non éclatés, citons enfin le repérage des batteries par le son, question importante s'il en fut, qui n'est ici qu'effleurée et pour cause la censure ayant retardé une première fois l'impression du volume. Espérons que cette œuvre se poursuivra et qu'une fois toutes les interdictions levées, il sera permis de connaître les travaux de tous les ingénieurs et savants qui ont travaillé à la résolution des problèmes complexes posés par la guerre.

Bibliographie : Origine et évolution de la soufflerie, par Ch. Frémont (2). — Dans la préface, l'auteur montre que l'étude de la mécanique pratique, telle qu'on l'enseigne dans les écoles, n'est qu'une application des mathématiques aux mécanismes, sans en approfondir le fonctionnement; au contraire l'étude des machines par leur évolution, permet de comprendre facilement les modifications qu'elles ont subies pour les améliorer et d'acquérir graduellement une partie de l'expérience des anciens praticiens. L'ouvrage, illustré de nombreuses figures, donne la description des différentes soufflerie destinées à activer le tirage des foyers et utilisées par les hommes de toutes les races depuis leur origine jusqu'à nos jours.

(1) Un volume de 328 pages de 13 cm × 20 cm, Masson et Cie, éditeur. Prix : 7,00 fr.

(2) Un vol. 27 cm × 22 cm, 100 pages, 162 figures, Ch. Frémont, 25, rue du Simplon, Paris 18e.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Méthode d'analyse expérimentale des propriétés des alternateurs [1]

On a proposé déjà bien des méthodes d'expérimentation pour étudier les réactions d'induit des alternateurs; mais, au fur et à mesure que l'électrotechnique se perfectionne, on devient plus exigeant dans la précision à apporter dans l'étude de cette question, notamment pour la séparation des facteurs qui interviennent pour déterminer les variations de la force électromotrice apparente aux bornes, en tenant compte de la saturation des différentes parties de la machine et des différentes causes de fuites magnétiques. Les auteurs se proposent dans le présent travail de montrer comment on peut procéder, par des moyens relativement simples, sur une plateforme d'essais, à une analyse assez rigoureuse de tous les coefficients qui entrent dans la théorie dite des deux réactions, soit pour prédéterminer les régimes d'utilisation, soit pour établir en connaissance de cause d'autres machines analogues. Ils font connaître différentes variantes s'appliquant soit à l'état statique, c'est-à-dire, quand l'alternateur est arrêté, soit à l'état dynamique, c'est-à-dire quand il tourne à sa vitesse de régime; l'exposé des méthodes et formules employées pour déterminer les flux principaux, les réluctances, les flux de fuites, les coefficients de réaction directe et transversale seront rendus plus clairs par leur application à un cas concret.

I. — Exposé de la méthode.

I. — **Introduction**. — La théorie des alternateurs par la méthode des deux réactions a été exposée par l'un de nous à différentes reprises : d'abord en 1899 [2], en supposant qu'on puisse négliger la réluctance de l'entrefer dans l'expression de la portion du flux inducteur qui se ferme directement entre les dents de l'induit sans pénétrer dans les enroulements de ce dernier; puis plus récemment, en exposant un diagramme complet [3] dans lequel toutes les réluctances sont prises en considération, même dans les termes correctifs, de manière que la question soit traitée de la façon la plus rigoureuse compatible avec la simplicité nécessaire au calcul pratique.

Nous reproduisons ici la figure du diagramme général (fig. 1) expliqué dans « La Revue électrique » du 20 novembre 1914, auquel nous renvoyons pour plus d'explications et de détails.

Quand on fait travailler l'alternateur dans des parties rectilignes de ses caractéristiques d'induit et d'inducteur, c'est-à-dire soit aux très faibles saturations (cas du court-circuit), soit au contraire aux fortes saturations au delà du coude des caractéristiques, les formules et les constructions qui se déduisent du diagramme se trouvent simplifiées et permettent des solutions qui avaient été exposées en 1899.

L'un de nous a indiqué dans un récent travail [1], comment on pouvait dans ce cas déterminer très simplement les self-inductances globales des alternateurs; certaines de ces déterminations expérimentales restent valables dans certains cas pour les alternateurs non saturés lorsqu'on peut se contenter d'étudier un seul régime. Il en est autrement lorsqu'on veut étudier avec précision et rechercher non seulement des coefficients globaux, mais encore les éléments des réactions internes de la machine pour déterminer leur valeur et étudier l'influence des différents éléments de construction ; il faut alors se servir du diagramme complet rappelé plus haut.

L'emploi de ce diagramme pour la prédétermination du fonctionnement en charge d'un alternateur, d'après les essais à vide et en dewatté, exige la connaissance des caractéristiques partielles de la machine. Ces caractéristiques ne peuvent être calculées qu'à titre d'approximation ; il est nécessaire pour les connaître avec sûreté de les relever sur la machine, après exécution, au moyen de mesures appropriées.

Cette recherche expérimentale des caractéristiques partielles ne peut se faire qu'à la plateforme d'essais ; mais elle est des plus utiles pour la vérification. Elle nécessite, en particulier, des mesures du flux inducteur et du flux transversal pour divers régimes.

(1) Ce manuscrit, remis à la Revue le 26 février 1919, a été rédigé en 1914 ; les applications expérimentales entreprises aussitôt après furent interrompues par la guerre au début de 1915.

(2) A. Blondel ; Théorie empirique des alternateurs. *L'Industrie électrique*, 10 et 25 novembre 1899.

(3) Cf. A Blondel. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1914, t. clviii, p. 1961 et t. clix pp. 570 et 604 ; *La Revue électrique*, 1914, t. xxxii, p. 349 et le diagramme fondamental p. 353.

(1) A. Blondel. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 25 février 1919, t. clxvi, p. 323.

Digitized by Google

Nous avons d'abord fait ces mesures à l'aide de bobines d'épreuve fixées à l'induit.

Mais les vitesses admises actuellement pour les alternateurs ont conduit à modifier la construction des rotors ; ceux-ci ne se prêtent plus, en pratique, à l'enroulement de bobines d'épreuves autour des noyaux polaires pour mesurer le flux inducteur au balistique. D'ailleurs, quand la machine tourne, il faut, si l'on veut effectuer des mesures de flux, relier ces bobines à deux bagues auxiliaires montées sur l'arbre dont l'installation est souvent difficile ; nous appelons cette mesure la méthode « dynamique ».

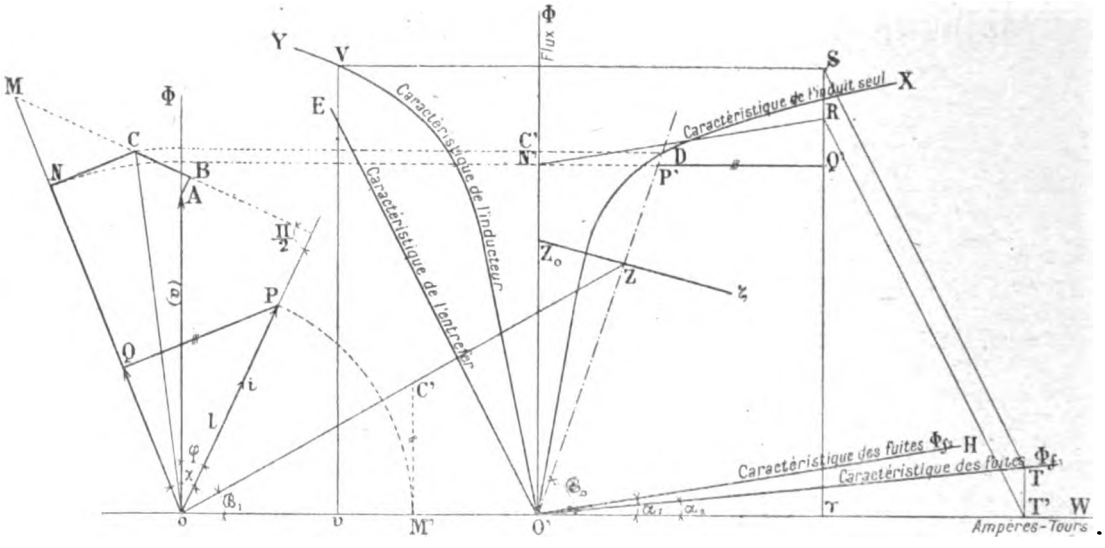


Fig. 1. — Diagramme des alternateurs à pôles saillants.

Enfin, si l'on exclut la méthode dynamique, qui n'est pas toujours applicable pour les alternateurs de grande puissance, l'étude de la réaction transversale ne peut se faire qu'en mesurant en fonctionnement « statique », c'est-à-dire sur la machine immobile, le flux transversal. Or, il n'est pas toujours possible de placer une bobine d'épreuve dans les encoches de l'induit.

Nous avons ainsi été conduits à appliquer, pour la mesure du flux dans un circuit donné, une méthode exigeant simplement que les deux bornes de ce circuit seules soient accessibles. Nous la décrirons d'abord à part.

II. — **Exposé préliminaire d'une méthode pour la mesure du flux inducteur de l'alternateur en charge.** — Nous avons réalisé la mesure directe du flux inducteur en charge à l'aide du montage représenté schématiquement ci-contre (fig. 2). En série avec le circuit (inducteur) C, est une résistance non inductive r_1 très faible par rapport à la résistance du circuit C ; soit R_1 la résistance totale. Aux bornes A B de l'ensemble est branchée une résistance non inductive R_0 de l'ordre de grandeur de R_1 et sur laquelle peut se déplacer un curseur N relié à un galvanomètre balistique à très longue période d'oscillation propre ou à un fluxmètre ; ce dernier est, d'autre part, connecté à l'extrémité M de la résistance r_1.

Soient :

r_0, la résistance AN ;

I_0 et I_1, les courants de régime, respectivement dans les dérivations R_0 et R_1 quand l'ensemble AB est branché sur la différence de potentiel U, par la fermeture de l'interrupteur bipolaire JJ ;

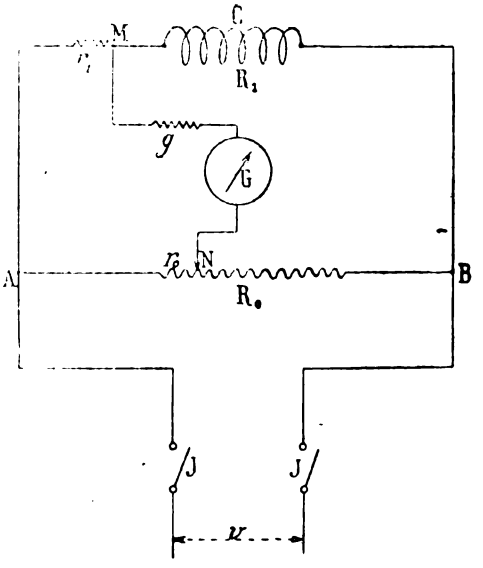


Fig. 2. — Montage pour la mesure directe du flux inducteur d'un alternateur en charge.

i_1, le courant à l'instant t dans la branche R_1 pendant la période transitoire correspondant à la fermeture ou à l'ouverture de l'interrupteur JJ ;

Digitized by Google

$N\Phi$, le flux dans le circuit C, correspondant au passage du courant i_1 ;

j, le courant dans le galvanomètre G à l'instant t ;

g, la résistance totale du galvanomètre (y compris s'il y a lieu sa résistance additionnelle) ;

G, la constante galvanométrique ;

K, le moment d'inertie, par rapport à l'axe, de l'équipage mobile du galvanomètre ;

A, le coefficient d'amortissement ;

C, le couple directeur par radian ;

θ, la déviation de l'équipage mobile du galvanomètre à l'instant t ;

$h\frac{d\theta}{dt}$, la force contre-électromotrice induite du galvanomètre ;

l, le coefficient de self-induction du circuit galvanométrique.

On réalise l'équilibre du galvanomètre, en agissant sur le curseur N ; dans ces conditions, on a l'égalité

$$\frac{r_0}{R_0} = \frac{r_1}{R_1}. \qquad (1)$$

A l'instant t, après la fermeture de l'interrupteur JJ, il vient

$$R_1 i_1 + \frac{d}{dt}(N\Phi) = U, \qquad (2)$$

$$K\frac{d^2\theta}{dt^2} + A\frac{d\theta}{dt} + C\theta = Gj, \qquad (3)$$

$$gj + l\frac{dj}{dt} + h\frac{d\theta}{dt} = r_0 I_0 - r_1 i_1. \qquad (4)$$

En remarquant que $I_0 = \frac{U}{R_0}$, on a, d'après (2)

$$r_0 I_0 - r_1 i_1 = r_0\frac{U}{R_0} - r_1\frac{U}{R_1} + \frac{r_1}{R_1}\frac{d}{dt}(N\Phi),$$

la condition (1) étant remplie, cette dernière équation devient

$$r_0 I_0 - r_1 i_1 = \frac{r_1}{R_1}\frac{d}{dt}(N\Phi). \qquad (5)$$

Soit τ la durée pratique du phénomène transitoire ; multiplions par dt les termes des équations (3) et (4) et intégrons entre l'instant de la fermeture pris pour origine, $t = 0$, et l'instant $t = \tau$

$$\int_0^\tau K\frac{d^2\theta}{dt^2}dt + \int_0^\tau A\frac{d\theta}{dt}dt + \int_0^\tau C\theta dt = \int_0^\tau Gj\,dt. \qquad (3')$$

$$\int_0^\tau gj\,dt + \int_0^\tau l\frac{dj}{dt}dt + \int_0^\tau h\frac{d\theta}{dt}dt = \frac{r_1}{R_1}[N\Phi_1], \qquad (4')$$

$[N\Phi_1]$ étant le flux dans le circuit C pour le courant permanent I_1.

Deux cas sont maintenant à considérer suivant qu'on emploie pour les mesures un galvanomètre balistique ou un fluxmètre.

Premier cas. — *Le galvanomètre* G *est un galvanomètre balistique ordinaire.* — La période T des oscillations propres du galvanomètre est très grande devant la durée du phénomène transitoire ; 0 et j sont nuls aux deux limites d'intégration et l'on a

$$\int_0^\tau K\frac{d^2\theta}{dt^2}dt = K\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{t=\tau},$$

$$\int_0^\tau A\frac{d\theta}{dt}dt = A\left[\theta\right]_{t=0}^{t=\tau} = 0,$$

$$\int_0^\tau C\theta\,dt = 0,$$

$$\int_0^\tau l\frac{dj}{dt}dt = 0.$$

Les équations (3') et (4') se réduisent à

$$K\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{t=\tau} = \int_0^\tau Gj\,dt,$$

$$\int_0^\tau gj\,dt = \frac{r_1}{R_1}[N\Phi_1].$$

D'où

$$K\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{t=\tau} = \frac{G}{g}\frac{r_1}{R_1}[N\Phi_1].$$

A partir de l'instant τ, la différence de potentiel aux bornes du galvanomètre devenant nulle

$$r_0 I_0 - r_1 I_1 = \left(\frac{r_0}{R_0} - \frac{r_1}{R_1}\right)U = 0,$$

l'élongation du balistique sera proportionnelle à sa vitesse initiale $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{t=\tau}$ et, par suite, au flux $[N\Phi_1]$ à mesurer.

Deuxième cas. — *Le galvanomètre* G *est un fluxmètre de Grassot.* — On sait que, dans cet appareil, le couple directeur est négligeable par construction devant le couple d'inertie et le couple d'amortissement de l'équipage.

En désignant par τ l'instant du maximum de déviation, on a, en remarquant que $\frac{d\theta}{dt}$ et j sont nuls aux deux limites d'intégration

$$\int_0^\tau K\frac{d^2\theta}{dt^2}dt = K\left[\frac{d\theta}{dt}\right]_0^\tau = 0,$$

$$\int_0^\tau A\frac{d\theta}{dt}dt = A\left[\theta_{t=\tau} - \theta_{t=0}\right],$$

$$\int_0^\tau C\theta\,dt = 0,$$

$$\int_0^\tau l\frac{dj}{dt}dt = 0.$$

Digitized by Google

Les équations (3') et (4') se réduisent à

$$A\,[\theta_{t=\tau} - \theta_{t=0}] = \int_0^{\tau} G j\,dt,$$

$$\int_0^{\tau} g j\,dt + h\,[\theta_{t=\tau} - \theta_{t=0}] = \frac{r_1}{R_1}\,[N\Phi_1].$$

D'où

$$\left(\frac{A g}{G} + h\right)[\theta_{t=\tau} - \theta_{t=0}] = \frac{r_1}{R_1}\,[N\Phi_1].$$

Le terme $\frac{A g}{G}$ est, par construction, négligeable devant h, et la déviation du fluxmètre est proportionnelle au flux à mesurer :

$$\Delta\theta_{max} = \frac{1}{h}\,\frac{r_1}{R_1}\,[N\Phi_1].$$

Remarque. — La constante de temps des inducteurs (1) étant de l'ordre de la seconde, le galvanomètre balistique employé doit avoir une période considérable. A ce point de vue, l'emploi d'un fluxmètre semble le plus avantageux : il suffit alors que toute la quantité d'électricité ait traversé l'appareil avant que la déviation atteigne le maximum θ_τ.

Les calculs précédents s'appliquent encore, moyennant un simple changement de signe, au cas de l'ouverture de l'interrupteur JJ et conduisent aux mêmes résultats.

En pratique, on remplacera l'interrupteur JJ par un inverseur ; il faut alors remplacer dans la formule $[N\Phi_1]$ par $[2N\Phi_1]$.

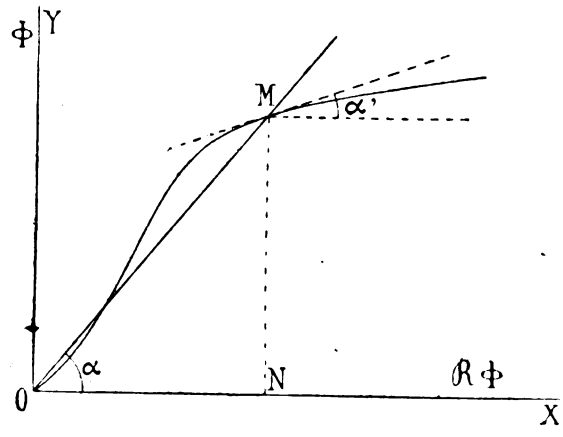


Fig. 3. — Définition des perméabilités réelle et moyenne de l'induit en fonction de la courbe des ampères-tours d'excitation de l'induit.

III. — Notations employées pour l'analyse expérimentale des alternateurs.

— La figure 3 représente la caractéristique des inducteurs, ou celle de l'induit suivant le cas, en fonction des ampères-tours, pour la définition des angles de la perméabilité ; la perméabilité moyenne apparente au point M est définie par l'angle MOX

$$\text{tang}\,\alpha = \frac{1}{R},$$

et la perméabilité réelle est définie par l'angle de la tangente à la courbe au point M

$$\text{tang}\,\alpha' = \frac{1}{R'}.$$

On fera usage, dans l'étude qui suit, des notations suivantes :

Φ_a, Φ_e, Φ_i, flux (en maxwells) respectivement dans l'armature, l'entrefer et l'inducteur.

Φ_{f1}, Φ_{f2}, Φ_{f3}, flux de fuites de l'inducteur, flux de fuites de denture et flux de fuites de dispersion autour des parties extérieures au fer de l'enroulement induit. Le flux de fuites de dispersion est proportionnel au courant de débit

$$\Phi_{f3} = l_{f3} I,$$

(l_{f3} étant le coefficient de self-induction de dispersion).

A, coefficient de réaction directe.

L_t, coefficient de self-induction transversale.

R_a, R_e, R_i, R_{f1}, etc., réluctances (en ampères-tours par maxwell) correspondant au parcours des flux définis précédemment et pour un état de fonctionnement donné.

R'_a, R'_e, R'_i, R'_{f1}, etc., réluctances (en ampères-tours par maxwell) déterminées par le rapport d'une variation de force magnétomotrice à la variation correspondante de flux autour de l'état de fonctionnement considéré (fig. 3).

$$R' = \frac{d}{d\Phi}(R\Phi) = R + \Phi\,\frac{dR}{d\Phi}.$$

Remarque. — Pour obtenir des résultats définis, malgré l'hystérésis, on repart, avant chaque essai, d'un état magnétique neutre obtenu en produisant dans le circuit inducteur des inversions de courant d'intensité décroissante.

IV. — Essais et caractéristiques de l'alternateur à vide.

— L'essai de l'alternateur à vide a pour but de faire correspondre à chaque valeur de l'excitation totale $(ni)_0$:

1° La force électromotrice par phase E_0 pour la vitesse normale ;

2° Le flux inducteur (Φ_i) ;

3° Le flux dans l'entrefer $(\Phi_e)_0$.

Le flux inducteur Φ_i pour une excitation donnée ni sera mesuré : soit avec une bobine d'épreuve enroulée autour des noyaux polaires, l'alternateur ne tournant pas, soit par la méthode exposée précédemment (§ II), la machine tournant ou non.

(1) La constante de temps est encore augmentée si les inducteurs ont des noyaux et des pôles pleins ; s'ils sont munis de circuits amortisseurs, elle l'est encore du fait de la réaction des circuits de l'induit quand ceux-ci débitent du courant avant la rupture.

Digitized by Google

Les valeurs correspondantes du flux dans l'entrefer Φ_e seront mesurées au balistique ou au fluxmètre, à l'aide d'une bobine d'épreuve placée dans l'entrefer.

V. — **Caractéristiques des fuites f_1** (1). — Imaginons que l'alternateur débite un courant déwatté I_d

$$\Phi_i = \Phi_e + \Phi_{f1},$$
$$ni = R_i \Phi_i + R_{f1} \Phi_{f1}.$$

Si l'on agit sur le circuit extérieur pour faire varier I_d de ΔI_d tout en réglant l'excitation totale ni de manière à conserver le *même flux inducteur*, il vient

$$0 = \Delta \Phi_e + \Delta \Phi_{f1},$$
$$\Delta ni = R_{f1} \Delta \Phi_{f1}.$$

D'où

$$R_{f1} = -\frac{\Delta ni}{\Delta \Phi_e}.$$

On peut, par voie graphique, se rendre compte de ce résultat en se reportant à la figure 4.

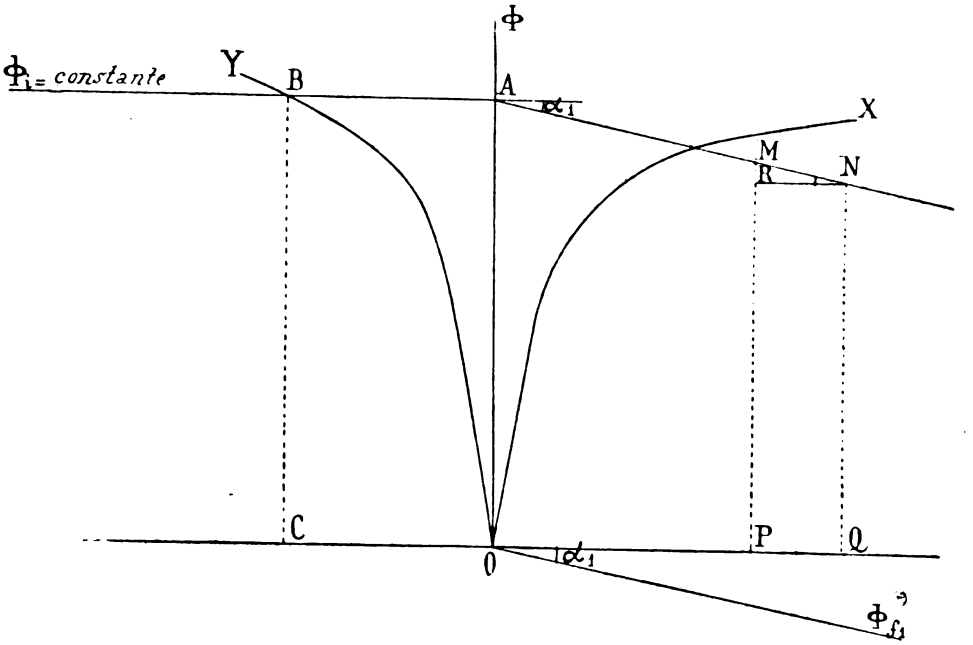


Fig. 4. — Détermination graphique des fuites f_1 par comparaison des ampères-tours d'excitation nécessaires pour deux débits déphasés correspondant à un même flux inducteur.

Soit $OA = \Phi_i$ le flux inducteur maintenu constant ; une parallèle aux abscisses, issue de A, coupe la caractéristique de l'inducteur seul OY au point B ; AB représente les ampères-tours nécessaires pour l'inducteur. Menons de A une parallèle à la caractéristique des fuites $O\Phi_{f1}$, deux points quelconques M et N pris sur cette parallèle correspondent à deux états de régime à même flux inducteur $\Phi_i = OA$ et tels que les ordonnées MP et NQ mesurent respectivement les flux dans l'entrefer, les excitations totales étant CP et CQ.

Dans le triangle rectangle MNR, on a

$$MR = RN \text{ tang } \widehat{MNR}.$$

Or, MR est égal à la différence (MP — NQ) des flux dans l'entrefer

$$MR = \Delta \Phi_e;$$

RN est égal à la différence (CQ — CP) des ampères-tours totaux d'excitation

$$NR = \Delta ni.$$

Enfin

$$\text{tang } \widehat{MNR} = \text{tang } \alpha_1 = \frac{1}{R_{f1}}.$$

Il vient donc, en remarquant que $\Delta \Phi_e$ et Δni sont de signe contraire

$$R_{f1} = -\frac{\Delta ni}{\Delta \Phi_e}.$$

Pratiquement, il suffira de relever pour un seul régime (régime saturé) quelconque en courant déwatté : l'excitation totale $(ni)_1$, le flux dans l'entrefer $(\Phi_e)_1$ et le flux dans l'inducteur Φ_i. On se reportera aux caractéristiques relevées à vide (§ IV) et on déterminera, pour le même flux inducteur Φ_i, le flux dans l'entrefer $(\Phi_e)_0$ et l'excitation totale correspondante $(ni)_0$. La réluctance des fuites f_1 sera donnée par la formule suivante

$$R_{f1} = \frac{(ni)_1 - (ni)_0}{(\Phi_e)_0 - (\Phi_e)_1}.$$

(1) Le parcours des fuites f_1 entre pièces polaires et des fuites de denture f_2 s'effectuant en majeure partie dans l'air, on a une approximation largement suffisante en considérant les caractéristiques de ces fuites comme droites : alors $R'_{f1} = R_{f1}$ et $R'_{f2} = R_{f2}$.

Digitized by Google

Dans cet essai, les flux dans l'inducteur et dans l'entrefer seront mesurés pendant le fonctionnement de l'alternateur. En ce qui concerne le flux dans l'inducteur, on emploiera la méthode exposée ci-dessus au paragraphe II. Quant au flux dans l'entrefer, il faudra que la bobine d'épreuve, en fils très fins, fixée au stator, soit d'épaisseur réduite par rapport à l'entrefer ; cette bobine sera branchée sur un électromètre ou un voltmètre thermique, étalonné en continu avec une résistance égale à la réactance de la bobine. La mesure de la force électromotrice donnera Φ_e, connaissant la vitesse et le nombre de spires de la bobine.

Si l'on opère dans ces conditions, il est à recommander de faire toutes les mesures du flux dans l'entrefer par cette méthode, lors des essais à vide.

Il n'est pas nécessaire, pour cet essai, que le courant de débit soit complètement déwatté, mais il faut qu'il ait une composante déwattée I_d de grandeur suffisante pour produire des variations de flux appréciables.

Dans le cas d'un entrefer trop petit pour laisser la bobine d'épreuve en place quand la machine tourne, on aura recours à l'essai statique déwatté : on amènera le rotor dans une position telle que les pôles soient en regard des bobines de l'enroulement induit ; à l'aide de courant continu dans l'induit, on crée des contre-ampères-tours directement opposés aux ampères-tours de l'inducteur. Avec une bobine d'épreuve et un balistique ou un fluxmètre, on mesure le flux dans l'entrefer $(\Phi_e)_1$ par coupures ou inversions simultanées du courant dans l'inducteur et dans l'induit.

VI. **Coefficient A de réaction directe.** — L'alternateur fonctionnant en courant *complètement déwatté* imaginons que l'on fasse varier le débit et l'excitation à *flux dans l'entrefer constant* ($\Delta\Phi_e = 0$) ; il vient alors

$$\Delta\Phi_a + \Delta\Phi_{f2} = 0,$$
$$\Delta\Phi_i - \Delta\Phi_{f1} = 0,$$

$$\Delta A I_d + R'_a \Delta\Phi_a = R_{f2}\Delta\Phi_{f2} = R_{f1}\Delta\Phi_{f1} = \Delta n i - R'_i \Delta\Phi_i.$$

D'où, en introduisant les coefficients d'Hopkinson (1),

$$\Delta A I_d = (R'_a + R_{f2})\Delta\Phi_{f2} = \nu'_2 R_{f2}\Delta\Phi_{f2},$$
$$\Delta n i = (R'_i + R_{f1})\Delta\Phi_{f1} = \nu'_1 R_{f2}\Delta\Phi_{f1}.$$

Par suite

$$A = \frac{\nu'_2}{\nu'_1}\left(\frac{\Delta n i}{\Delta I_d}\right)_{\Delta\Phi_e = 0}.$$

En choisissant un régime *très au-dessous de la saturation* ν'_1 et ν'_2 sont voisins de l'unité et l'on a sensiblement

$$A = \left(\frac{\Delta n i}{\Delta I_d}\right)_{\Delta\Phi_e = 0}.$$

Sur la figure 5, où l'on a représenté en OX la caractéristique de l'induit seul (y compris les dents), en OY la caractéristique de l'inducteur seul, en OZ la caractéristique de l'entrefer, portons sur l'axe des flux $OA = \Phi_e$, flux dans l'entrefer maintenu constant, prenons sur la parallèle (issue de A) à la droite des fuites de denture $O\Phi_{f2}$ deux points quelconques B_1, B_2, par lesquels nous menons des parallèles à l'axe des abscisses qui coupent la caractéristique de l'induit seul en C_1 et C_2. Les ordonnées $C_1 c_1$ et $C_2 c_2$ représentent les flux Φ_a dans l'induit correspondant à deux régimes en fonctionnement déwatté pour lesquels les contre-ampères-tours directs sont respectivement $C_1 B_1$ et $C_2 B_2$, le flux dans l'entrefer étant maintenu constant et égal à OA. Par les points d'intersection des ordonnées des points B_1 et B_2 avec la droite Φ_e = constante, menons des parallèles à la caractéristique de l'entrefer qui coupent l'axe des abscisses en d_1 et en d_2. Les segments Od_1 et Od_2 mesurent les ampères-tours nécessaires à l'induit et l'entrefer pour chaque régime considéré. Les parallèles $D_1 F_1$ et $D_2 F_2$ à la droite des fuites $O\Phi_{f1}$ déterminent en OF_1 et OF_2 les flux correspondants dans l'inducteur : d'où les ampères-tours Og_1 et Og_2 pour celui-ci seul.

On voit facilement sur la figure 5

$$B_1 J = JB_2 \text{ tang } \widetilde{B_1 B_2 J} = JB_2 . \frac{1}{R_{f2}}, \qquad (1)$$

$$F_1 F_2 = D_1 D_2 \text{ tang } \widetilde{A D_2 F_2} = D_1 D_2 . \frac{1}{R_{f1}}, \qquad (2)$$

$$F_1 F_2 = g_1 g_2 . \text{tang } \widetilde{K G_1 G_2} = g_1 g_2 . \frac{1}{R'_i}. \qquad (3)$$

Or, $B_1 J$ mesure la différence des flux dans l'armature pour les deux régimes : $B_1 J = \Delta\Phi_a$. De même $F_1 F_2 = \Delta\Phi_i$, et

$$JB_2 = (C_2 B_2 - C_1 B_1) - c_1 c_2 = \Delta A I_d - R'_a \Delta\Phi_a$$

D'autre part, la différence des excitations totales est

$$\Delta n i = g_2 d_2 - g_1 d_1 = g_1 g_2 + d_1 d_2 = g_1 g_2 + J B_2$$

en tenant compte de (2) et (3)

$$\Delta n i = JB_2\left(1 + \frac{R'_i}{R_{f1}}\right) = (\Delta A I_d - R'_a \Delta\Phi_a)\left[1 + \frac{R'_i}{R_{f1}}\right], \qquad (4)$$

l'égalité (1) s'écrit

$$\Delta\Phi_a = (\Delta A I_d - R'_a \Delta\Phi_a)\frac{1}{R_{f2}},$$

ou

$$\Delta A I_d . \frac{R_{f2}}{R'_a + R_{f2}} = (\Delta A I_d - R'_a \Delta\Phi_a),$$

(1) $\nu_1 = \dfrac{R_i + R_{f1}}{R_{f1}}$, $\nu_2 = \dfrac{R_a + R_{f2}}{R_{f2}}$,

$\nu'_1 = \dfrac{R'_i + R_{f1}}{R_{f1}}$, $\nu'_2 = \dfrac{R'_a + R_{f2}}{R_{f2}}$.

Digitized by Google

Enfin, en tenant compte de cette relation dans (4), il vient

$$\Delta ni = \Delta A I_d \frac{R'_i + R_{f1}}{R_{f1}} \frac{R_{f2}}{R'_a + R_{f2}} = \frac{v_1}{v_2} \Delta A I_d.$$

Il suffira de relever, pour un seul régime *non saturé* et en débit *complètement déwatté* I_d, l'excitation totale ni pour un flux Φ_e dans l'entrefer. En se reportant aux caractéristiques à vide, on cherchera la valeur de l'excitation totale $(ni)_0$ correspondant au même flux Φ_e dans l'entrefer. Le coefficient A de réaction directe sera donné par la formule simple

$$A = \frac{ni - (ni)_0}{I_d}.$$

On pourra se dispenser de faire tourner l'alternateur en ayant recours au fonctionnement statique déwatté : le rotor étant dans une position telle que les pôles soient en regard des bobines de l'enroulement induit ; on crée, en faisant passer un courant continu I_c par phase, des contre-ampères-tours de l'induit correspondant à un courant de débit complètement déphasé, d'intensité efficace

$$I_d = \frac{I_c}{\sqrt{2}}.$$

Le coefficient A s'exprime alors par la formule

$$A = \frac{ni - (ni)_0}{I_c} \sqrt{2}.$$

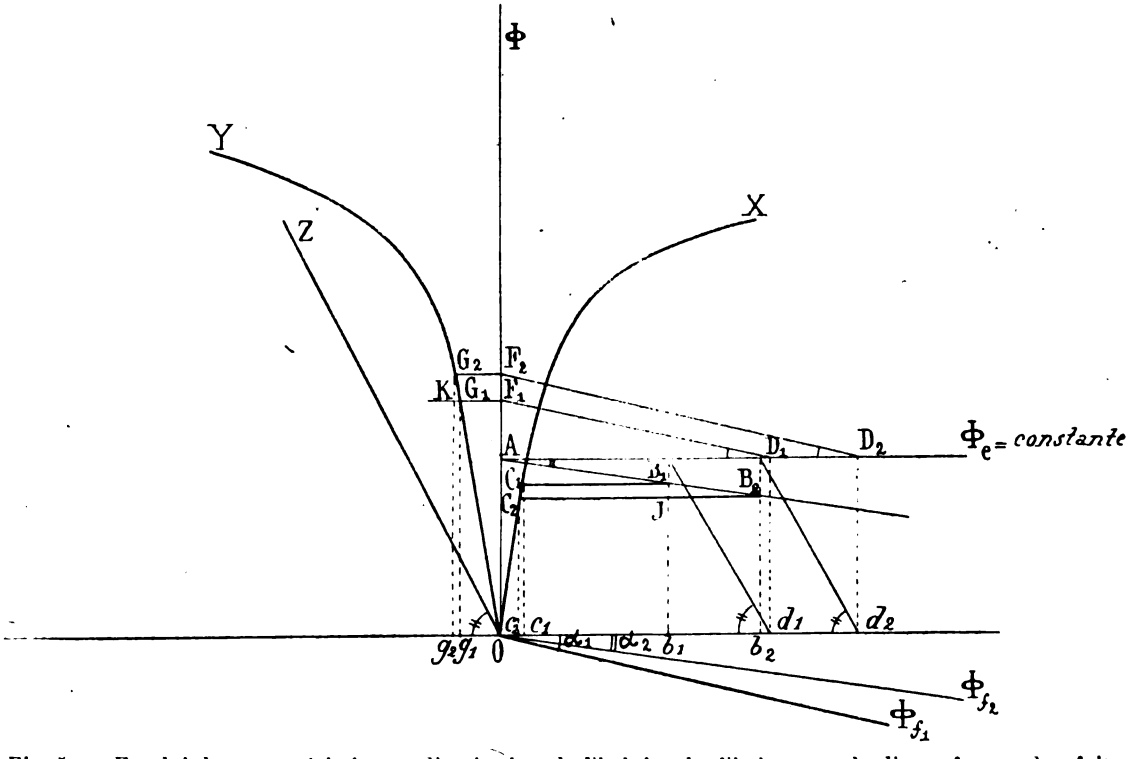


Fig. 5. — Emploi des caractéristiques d'excitation de l'induit, de l'inducteur, de l'entrefer et des fuites pour la détermination du coefficient A de réaction directe.

VII. **Caractéristique de l'entrefer**. — Considérons l'alternateur fonctionnant toujours en courant déwatté ; toute variation de régime satisfait à la relation générale

$$\Delta ni = R_a \Delta \Phi_a + \Delta A I_d + R_e \Delta \Phi_e + R_i \Delta \Phi_i.$$

Si la variation s'effectue à flux inducteur constant ($\Delta \Phi_i = 0$), autour d'un point de fonctionnement éloigné de la saturation, R'_a étant négligeable devant R_e, on a

$$\Delta ni = \Delta A I_d + R_e \Delta \Phi_e,$$

d'où

$$R_e = \frac{\Delta ni - \Delta A I_d}{\Delta \Phi_e}.$$

Il suffira, en pratique, de relever pour un débit déwatté I_d, en régime non saturé, l'excitation totale, les flux Φ_e et Φ_i dans l'entrefer et dans l'inducteur ; à l'aide des caractéristiques relevées à vide, on détermine, pour le *même flux dans l'inducteur* Φ_i, le flux dans l'entrefer et l'excitation totale ; d'où les variations $\Delta \Phi_e$ et Δni.

On peut encore faire l'essai en fonctionnement statique déwatté.

VIII. — **Caractéristique de l'inducteur seul**. — La caractéristique de l'inducteur seul, correspondant à des régimes non saturés, est calculée avec une approximation suffisante au cours du projet de la machine. On peut la rectifier expérimentalement pour des *régimes saturés*, par des essais en fonctionnement déwatté (sta-

Digitized by Google

tique ou dynamique) à *flux dans l'entrefer constant*.

Rappelons, en effet, que

$$\Delta ni = R_{f1}\Delta\Phi_{f1} + R_i\Delta\Phi_i.$$

Si $\Delta\Phi_e = 0$

$$\Delta\Phi_i = \Delta\Phi_{f1}.$$

D'où, pour un flux Φ_i dans l'inducteur

$$R'_i = \left(\frac{\Delta ni}{\Delta\Phi_i}\right)_{\Delta\Phi_e=0} - R_{f1}.$$

Cette méthode n'est applicable, pratiquement, que pour des régimes saturés, puisque dans ce cas R'_i et R_{f1} sont de même ordre de grandeur; mais c'est justement dans ces conditions qu'elle présente de l'intérêt.

IX. — **Caractéristique de l'induit.** — La caractéristique de l'armature est déduite graphiquement de la caractéristique d'excitation totale, après avoir déterminé toutes les autres caractéristiques partielles, comme il a été exposé ci-dessus.

On séparera les fuites de denture, à l'aide d'une bobine d'épreuve placée dans les encoches de l'induit, en mesurant à vide le rapport $\frac{\Phi_e}{\Phi_a} = \sigma_2$ (1).

X. — **Coefficient de self-induction transversale de l'induit** (L_t). — La méthode suivante, proposée par l'un de nous en 1899 (2), consiste à faire débiter l'alternateur sur résistances non inductives.

Soient : U la tension aux bornes, I le courant débité; ψ le décalage de U par rapport à la force électromotrice intérieure à vide E;

r' la résistance ohmique apparente de l'induit.

On a

$$\omega L_t = \left(\frac{U}{I} + r'\right) \operatorname{tang} \psi.$$

La mesure du décalage ψ à l'aide d'un contact mobile de Joubert n'est applicable que si l'onde de la tension est de même forme à vide et en charge. Dans le cas contraire, on doit mesurer le décalage de l'harmonique fondamental de la tension, entre la marche à vide et la marche en charge, soit avec un oscillographe, soit à l'aide d'un galvanomètre de résonance accordé à la fréquence $\frac{\omega}{2\pi}$.

Le décalage de phase sera déterminé à l'aide de l'oscillographe ou par un éclateur qui enregistrera le passage du contact monté sur l'arbre de l'alternateur.

(1) Rappelons que le coefficient k relatif aux forces électromotrices est déterminé par la relation

$$E = \frac{k\omega N}{2q\sqrt{2}}\Phi 10^{-8}$$

N étant le nombre total de fils périphériques de l'induit, q le nombre de phases.

(2) A. Blondel. Théorie empirique des alternateurs. *L'Industrie électrique*, novembre-décembre 1899.

Cet essai, qui nécessite la mise en jeu d'une certaine puissance proportionnelle à la puissance de l'alternateur, peut être remplacé par une méthode purement statique.

Méthode statique avec bobine d'épreuve. — Le rotor est calé dans la position de fonctionnement statique watté pour l'une des phases, c'est-à-dire d'une manière telle que les axes des bobines de cette phase soient entre deux pôles de l'inducteur.

La bobine d'épreuve qui nous a permis déjà de mesurer le flux Φ_a dans l'armature (paragraphe IX) sera utilisée de nouveau pour mesurer le flux dans la phase considérée quand on fait passer dans celle-ci un courant continu d'intensité $I = I_{\text{eff}}\sqrt{2}$, ($I_{\text{eff}}$ étant l'intensité de débit normal de la machine) (1).

Au cours de cet essai, l'inducteur sera excité normalement afin que l'alternateur soit dans l'état magnétique de pleine charge.

Si l'alternateur est triphasé avec induit étoilé, le courant continu sera amené par la borne de la phase considérée, et sortira par les deux autres dont les bornes seront court-circuitées. Un inverseur permettra de renverser le sens de ce courant pour faire la mesure de flux. On aura

$$L_t = \frac{1}{2}\frac{\Delta\Phi}{I}\sqrt{2}.$$

Cette méthode exige que l'on puisse glisser dans les encoches une bobine d'épreuve dont les dimensions seront celles d'une bobine moyenne du stator. Le procédé suivant permet d'éviter cette restriction.

Méthode statique sans bobine d'épreuve. — Il suffit, s'il s'agit d'un alternateur monophasé, de mesurer le flux dans l'induit, calé dans la position de fonctionnement statique watté et siège d'un courant continu d'intensité $I_{\text{eff}}\sqrt{2}$ par la méthode décrite précédemment (§ II). Il est bien entendu que l'inducteur est excité normalement.

Si l'alternateur est triphasé, avec montage en étoile, soit ON la phase calée dans la position wattée (fig. 6) et traversée par le courant continu $I = I_{\text{eff}}\sqrt{2}$; les deux

(1) Il est bon de réparer ici un oubli commis dans notre exposé des méthodes statiques.

L'idée d'employer les bobines d'épreuve dans l'entrefer pour mesurer les flux directs et transversaux n'est pas nouvelle en elle-même ; elle a été indiquée pour la première fois par M. L. A.-Herdt, professeur à l'Université Mac-Gill de Montréal (L.-A. Herdt, Armature Reaction in Polyphase Alternators, *Electrical Review*, New-York, décembre 1, 1906). Dans ce travail, M. Herdt a déterminé les réactions directes et transversales à l'état *statique*, de la même manière que nous.

Nous avons expliqué plus haut pourquoi nous jugeons préférable de remplacer ces méthodes à bobines d'épreuve par les mesures directes du flux dans les enroulements eux-mêmes.

Par contre, nous trouvons toujours intéressant l'emploi nouveau que nous avons exposé des bobines d'épreuve pour la mesure des coefficients *de fuite*, notamment dans l'essai en court-circuit.

Digitized by Google

autres phases OB et OC doivent être le siège de courants $\frac{I}{2}$; on réalisera donc le montage ci-contre, qui suppose le point neutre accessible.

On inversera la tension appliquée aux bornes A et B et le fluxmètre ou le balistique branché entre les points P et Q mesurera le flux dans la phase ON (1).

XI. — **Coefficient de self-induction directe de l'induit** (L_d). — Quoique le coefficient de self-induction directe n'intervienne pas dans le diagramme des

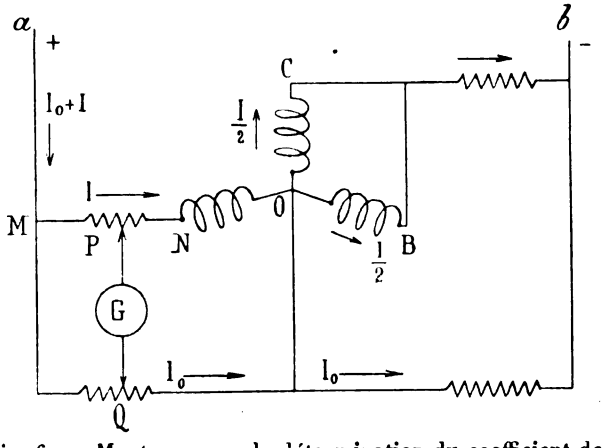


Fig. 6. — Montage pour la détermination du coefficient de self-induction transversale (ou directe) d'un alternateur triphasé sans bobine d'épreuve.

alternateurs à induit saturé, il peut être intéressant à connaître afin d'en déduire le rapport $\left(\frac{L_t}{L_d}\right)$ qui intervient dans les oscillations des alternateurs couplés.

Une première méthode consiste à faire débiter l'alternateur à excitation constante, sur circuit complètement inductif

$$\omega L_d = -\left(\frac{dU}{dI}\right)_{I=0}.$$

D'autre part, les essais en fonctionnement statique relatifs à la détermination du coefficient de self-induction transversale, avec ou sans bobine d'épreuve, sont encore applicables à la mesure du coefficient de self-induction directe : il suffit de caler le rotor dans la position statique dewattée pour la phase considérée (avec des bobines en coïncidence avec les axes des pôles de l'inducteur); l'excitation étant toujours maintenue à sa valeur normale.

XII. — **Coefficient de self-induction de dispersion de l'induit** (l_{f3}). — Le coefficient de self-induction de dispersion de l'induit se déterminera statiquement en même temps que le coefficient de self-induction transversale, par exemple, à l'aide d'une bobine d'épreuve enroulée le long des développantes d'une bobine de l'induit.

XIII. — **Résistance ohmique apparente** (r') **en charge.** — On fait rentrer dans la résistance de l'induit la résistance fictive correspondant aux pertes par courants d'induction; r' est donc une résistance apparente plus grande que la résistance ohmique que l'on peut déterminer en relevant le début de la caractéristique en charge, à excitation constante, sur circuit extérieur non inductif. On a

$$r' = -\left(\frac{dU}{dI}\right)_{I=0}.$$

(*A suivre.*)

A. Blondel et F. Carbenay.

Revues, analyses et informations

Sur une modification à la méthode fluorométrique de mesure des rayons X, et son application à la mesure du rayonnement des ampoules Coolidge.

Dans une communication à l'Académie des Sciences le 28 avril 1919 (2), M. R. Biquard présenta la note suivante :

Les mesures quantitatives relatives à l'énergie des rayons X ont été faites par diverses méthodes (ionisation, fluorescence, effets chimiques, élévation de température) dans lesquelles un faisceau du rayonnement à évaluer produit dans un milieu approprié un phénomène mesurable directement. L'intensité I de ce phénomène est liée à la quantité E d'énergie de rayons X absorbée pendant l'unité de temps, par une relation que l'on admet être de la forme $I = kE$.

Pour que cette intensité I soit proportionnelle, non seulement à l'énergie absorbée E, mais aussi à l'énergie E_0 du faisceau incident, il faut que le milieu, siège du phénomène mesurable, absorbe totalement le rayonnement incident. S'il en était autrement, le rapport $\frac{E}{E_0}$ et, par suite, le rapport $\frac{I}{E_0}$ varieraient avec la nature du rayonnement à mesurer, puisqu'il n'existe aucun corps dont le coefficient d'absorption pour les rayons X ne varie pas avec la longueur d'onde de ces rayons.

Cette condition d'absorption totale est réalisée dans les mesures par ionisation, en employant des chambres d'ionisation très longues, ayant 1, 80 m à 2, 50 m et remplies d'un

(1) Soient : R_1 la résistance M P A O, r_1 la résistance MP, R_2 la résistance M Q O, r_2 la résistance MQ. Les points P et Q sont choisis de telle façon que le fluxmètre ou le balistique restent au zéro en régime permanent; on a donc

$$\frac{r_1}{R_1} = \frac{r_2}{R_2}.$$

(2) *Comptes Rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 28 avril 1919, t. CLXVIII, p. 851.

Digitized by Google

gaz contenant des atomes lourds, l'iodure de méthyle par exemple (1).

Elle a été réalisée aussi dans la méthode bolométrique en absorbant comme l'a fait Weeks les rayons X dans un bolomètre en plomb épais de 1 mm constitué par une grille de $\frac{1}{20}$ de millimètre d'épaisseur repliée vingt fois sur elle-même (2). Il n'en est pas de même pour la fluorométrique qui, en principe, consiste, comme on sait, à évaluer l'intensité d'un faisceau de rayons X par la mesure de l'éclat d'un écran fluorescent formé d'une mince couche de cristaux de platinocyanure de baryum et recevant normalement le faisceau à étudier.

Cette méthode, bien que ne donnant pas une mesure en valeur absolue de l'énergie du rayonnement, rend des services dans les applications médicales des rayons X, à cause de sa simplicité d'emploi. Mais lorsqu'on calcule, d'après les résultats indiqués plus loin, la fraction de l'énergie incidente absorbée par de tels écrans, on trouve qu'elle varie suivant la nature des rayons X, entre 53 pour 100 et 10 pour 100, de sorte que la luminosité de l'écran est loin de donner une mesure de l'énergie du rayonnement incident, si l'on admet, comme on l'a indiqué au début, la proportionnalité entre la luminosité et l'énergie absorbée.

Il peut sembler *a priori* qu'il suffirait d'employer des écrans plus épais pour obtenir une absorption totale du rayonnement et, par conséquent, un éclat proportionnel à l'énergie incidente. Mais, en réalité, il n'en est rien, car dans un écran épais, l'éclat visible est dû uniquement aux couches superficielles, en raison de la faible transparence des cristaux de platinocyanure de baryum pour leur propre luminosité. On ne mesurerait donc pas la luminescence totale de l'écran, d'autant moins que son épaisseur devrait être portée à 6 mm ou 8 mm pour les rayons X à courte longueur d'onde.

Nous avons évité cette difficulté en substituant à l'écran épais un nombre suffisant d'écrans minces (0, 2 mm). L'énergie du rayonnement incident est alors évaluée en fonction de la somme des éclats des écrans successifs. Le nombre de ces écrans doit atteindre 40 pour absorber les rayons très durs d'une manière sensiblement complète.

Pratiquement, on opère d'une manière analogue à celle indiquée par le Dr Guilleminot et qui consiste à substituer à l'évaluation de l'éclat L d'un écran placé à l'unité de distance de l'anticathode émissive, l'évaluation de la distance D à laquelle l'éclat de cet écran est égal à l'éclat λ d'une plage luminescente servant d'étalon. On en déduit, en négligeant l'absorption des rayons X dans l'air

$$L = D^2\lambda.$$

Si l'on veut maintenant mesurer l'éclat des écrans fractionnaires successifs, il suffira d'interposer, entre l'écran qui sert aux mesures et l'anticathode émissive, un nombre croissant d'écrans identiques à celui qui sert aux mesures. On évaluera ainsi, après interposition de $1, 2, \ldots, n$ écrans, des distances $D_1, D_2, \ldots, D_n$ de plus en plus faibles, jusqu'à extinction pratiquement complète du faisceau.

(1) Beatty, *Proc. R. Soc.*, 1913. — Brainin, *Phys. Review*, 1917.
(2) *Phys. Rev.*, 1917.

L'énergie de ce faisceau sera alors évaluée par une relation

$$E = k\Sigma L = k\lambda\Sigma D^2.$$

La méthode qui vient d'être décrite a été appliquée à la détermination de l'énergie d'émission d'une ampoule Coolidge, alimentée au moyen d'un transformateur statique et d'un kenotron par un courant ondulatoire de sens unique dont la tension moyenne pouvait être réglé à des valeurs comprises entre 28 000 et 88 000 volts.

Les résultats obtenus permettent de tirer les conclusions suivantes :

L'éclat L d'un écran mince, recevant directement et absorbant partiellement le rayonnement, varie en fonction de la tension moyenne V_m des ondes, suivant une relation

$$L = a(V^2_m - A).$$

2° La somme des éclats des écrans successifs superposés en nombre suffisant pour absorber tout le rayonnement varie comme le cube de la tension moyenne des ondes

$$\Sigma L = b V^3_m.$$

Donc si l'on admet que cette valeur ΣL soit proportionnelle à l'*énergie du rayonnement incident*, on retrouve dans les limites des tensions employées la loi

$$E = a\Sigma L = ab V^3_m \qquad (a \text{ et } b \text{ const.}),$$

qui est celle que Weeks a déduite de ses *mesures calorimétriques* sur une ampoule Coolidge, alimentée par un transformateur avec redresseur mécanique des ondes.

On peut se demander si, par suite de propriétés sélectives des écrans fluorescents, les résultats obtenus ne dépendent pas de la nature de l'écran, et si, avec d'autres matières fluorescentes, on n'obtiendrait pas une loi différente.

Pour étudier cette question, une série de mesures analogues aux précédentes a été effectuée en substituant au *platino-cyanure de baryum*, le *tungstate de cadmium*, utilisé depuis peu pour les écrans radioscopiques.

Bien que le coefficient d'absorption de ces écrans soit très sensiblement supérieur à celui des écrans au platinocianure de baryum (1,5 à 3 fois), on retrouve encore pour l'éclat des premiers écrans, et pour la somme des éclats des écrans successifs, des lois de même forme que précédemment.

La constitution des écrans fluorescents ne paraît donc pas apporter de perturbation due à une absorption sélective et le procédé de mesure fluorométrique, tel qu'il vient d'être décrit, peut être considéré comme donnant, en valeur relative, des mesures correctes de l'énergie des rayonnements.

La détermination faite une fois pour toutes (par exemple en partant des données connues sur l'énergie des rayonnements des ampoules Coolidge), du rapport $\frac{E}{\Sigma L}$ pour une série d'écrans déterminée, permettrait d'ailleurs de passer des mesures relatives aux valeurs en mesure absolue de l'énergie.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

A travers les usines lorraines dévastées

Les installations électriques de Pont-à-Mousson

Les usines métallurgiques de Pont-à-Mousson, qui étaient spécialisées dans la fabrication des plaques de fonte pour trous d'homme et des tuyaux pour canalisations d'eau et de gaz, avaient acquis une réputation presque mondiale pour la qualité de leurs produits. Elles devaient donc être englobées dans le plan de dévastation systématique des Allemands et, en fait, elles ont subi 274 bombardements dont les conséquences sont détaillées dans l'article ci-dessous.

A la différence des usines métallurgiques de Mont-Saint-Martin et d'Homécourt, dont nous avons précédemment enregistré les vicissitudes, les établissements de Pont-à-Mousson n'ont jamais été occupés par les Allemands. Ceux-ci n'ont jamais pu pénétrer dans la vieille cité mussipontaine, malgré des efforts qui se prolongèrent pendant quatre ans. Comme Nancy, Pont-à-Mousson demeura inviolée.

Mais l'ennemi, dont les lignes investissaient la ville au Nord-Ouest, au Nord et au Nord-Est, ne se fit pas faute de couvrir de ses projectiles l'agglomération urbaine et les vastes ateliers dont il n'était éloigné que de quelques kilomètres. Pont-à-Mousson eut à souffrir, comme Reims, de bombardements méthodiques et la Société de Pont-à-Mousson, qui a tenu une comptabilité régulière de ces opérations de destruction, enregistrait, le 9 avril 1918, le 274e bombardement de ses établissements.

Ceux-ci occupaient une place particulière dans l'activité sidérurgique de la Lorraine. A côté de la fabrication de la fonte, assurée par 5 hauts fourneaux, les usines de Pont-à-Mousson s'étaient spécialisées dans la production des tuyaux pour canalisations d'eau et de gaz. La fonderie lorraine de tuyaux était considérée comme la plus puissante du monde entier. Les ateliers fabriquaient également les accessoires de canalisations, les appareils de robinetterie et de fontainerie, les plaques tournantes pour chemins de fer. Plus de 2 000 ouvriers participaient à ces travaux.

Pour la production de l'énergie nécessaire à ses diverses opérations, la Société de Pont-à-Mousson disposait avant la guerre d'une station centrale, de plus en plus insuffisante. Aussi avait-elle commencé avant la guerre l'édification d'une seconde station, dont l'aménagement devait comporter : un moteur Diesel de 1 200 ch et un de 1 500 ch. Au moment de la mobilisation, la tourelle de départ des lignes haute tension était achevée et les constructions extérieures terminées. Les massifs devant supporter les moteurs étaient sur le point d'être livrés aux mécaniciens et le grillage des cellules haute tension était fort avancé.

Le 28 août 1915, l'artillerie allemande dirigea sur l'usine un violent feu avec des projectiles de gros calibres, en particulier des 305. Cent cinquante obus tombèrent, ce jour-là, autour de la centrale, incontestablement visée. Le magasin situé à droite de la station fut détruit; la partie supérieure de la tourelle de départ des lignes fut gravement endommagée, ainsi que la façade du bâtiment située derrière les panneaux de haute tension (planche VIII, fig. 3).

A l'intérieur les dégâts n'étaient pas moins sérieux (planche VII, fig. 1); le premier étage des tableaux de distribution avait été défoncé, cependant que la toiture des cellules haute tension était brisée.

La situation de la division des hauts fourneaux n'a pas été moins douloureuse. Les Allemands se sont acharnés contre les hauts-fourneaux et les appareils annexes. Les soufflantes, en particulier, ont été gravement atteintes.

Des précautions particulières avaient été prises pour protéger les machines soufflantes à gaz des hauts fourneaux. Notre figure 2 montre, à cet égard, les blindages de sacs à terre, disposés sur une charpente en bois et destinés à abriter une machine de 750 chevaux.

Cependant nous pouvons constater les dégâts produits par un obus qui, après avoir traversé deux tôles de 4 mm d'épaisseur, avait troué la maçonnerie d'une station de soufflante, en même temps que ses éclats perforaient le sécheur des gaz alimentant la station (planche VIII, fig. 4).

La figure 5 nous montre les dévastations provoquées par la chute d'un seul obus de gros calibre sur un des bâtiments de l'usine. La conduite de gaz a été descendue à terre pour être réparée; la construction est littéralement en ruines. Toutefois, le pylône supportant les lignes électriques est intact. Par contre, des éclats d'obus ont emporté tous les fils.

Sans doute les ateliers de Pont-à-Mousson n'ont pas

Digitized by Google

connu les affres de l'occupation, mais on doit avouer que leur sort n'eut pas sans doute été pire si l'ennemi avait pu envahir la ville. Les Allemands, en effet, devaient ardemment désirer la destruction d'un établissement qui leur portait ombrage et qui, grâce à la réputation universelle de ses produits, faisait une âpre concurrence à l'industrie germanique des tuyaux de fonte.

Ils ont donc agi ici avec leur brutalité coutumière, avec leur acharnement raisonné, dans le but d'annihiler l'un des fleurons de notre industrie nationale du fer.

AUGUSTE PAWLOWSKI.

Installations hydroélectriques de grande puissance en courant continu

Pendant la guerre, les installations électrochimiques se sont développées d'une façon considérable dans tous les pays. Il n'est donc pas sans intérêt d'étudier de près les raisons qui ont fait adopter, d'une façon générale, pour leur alimentation des courants alternatifs transformés aux lieu et place du courant continu produit directement. C'est ce que l'auteur a examiné dans l'article ci-dessous en se plaçant au point de vue économique et pratique.

Généralités. — La plupart des installations hydroélectriques françaises produisant du courant continu sont simplement constituées par des turbines attaquant directement des dynamos à courant continu. L'énergie électrique est le plus souvent utilisée à la production de chlore et chlorates ou à celle d'aluminium et quelques autres métaux, toutes opérations d'électrolyse.

Un autre procédé, employé couramment aux Etats-Unis, consiste à placer en règle générale des alternateurs triphasés dans toutes les usines hydrauliques et à transformer ce courant en continu quand cela est nécessaire, en utilisant le plus souvent des commutatrices. Par exemple l'Aluminium Company of America, dans une de ses récentes usines, a installé une vingtaine de commutatrices de 2 500 kw — 500 v, 5 000 A — recevant du courant triphasé à 60 p : sec ; à Whitney, cette même compagnie a transformé les projets de la Southern Aluminium Company qui avait commandé 11 (avec augmentation ultérieure à 16) machines à courant continu de 5 200 kw, débitant 10000 A sous 620 v : ces machines ont été modifiées par addition de bagues et sont devenues des commutatrices ; d'autres turbines beaucoup plus puissantes ont été commandées et font tourner des alternateurs triphasés. Cependant, dans les deux cas, l'usine hydroélectrique est assez voisine de l'usine d'électrolyse et on aurait pu, en déplaçant au besoin celle-ci pour diminuer la distance, utiliser directement le courant continu. C'est ce qu'aurait fait la Southern Aluminium Co qui avait placé, selon la coutume française, son usine d'aluminium beaucoup plus près de la chute que celle qu'a installée l'Aluminum Co of America.

Comparaison des installations. — Il semble à première vue que l'installation d'alternateurs et commutatrices, en comparaison avec des dynamos à courant continu montées directement sur les turbines, offre deux inconvénients :

Diminution du rendement ;

Augmentation du prix.

Nous allons voir que, dans beaucoup de cas, il n'en est rien et que la solution avec transformation de courant est logique et économique.

Une première considération est celle de la position relative des usines. Il n'y a, le plus souvent, pas beaucoup de choix quant à celle de l'usine hydraulique ; sa situation est imposée par les nécessités d'y amener l'eau et de la restituer à la rivière. Les premières installations étaient de puissance relativement peu grande ; elles furent faites à un moment où le courant continu était techniquement en avance sur le courant alternatif. Comme, à cause de la faible puissance, on disposait assez facilement, ou moyennant une gêne tolérable, de l'emplacement nécessaire à l'établissement des installations d'électrolyse, on mit tout naturellement des machines à courant continu au bout des turbines et on accola les installations d'électrolyse à la salle des machines. Quand l'importance des usines grandit, on dut modifier les premiers errements : la tension des machines qui était d'abord 60 ou 100 v fut augmentée à 150-250 v et depuis longtemps à 500 v et même 600 v aux Etats-Unis, ceci dans le but de réduire l'importance des pertes dans les barres transmettant le courant, ainsi que le coût même de ces barres.

Mais la conception moderne des usines ne put s'accommoder de ces simples changements. On envisageait bien autrefois une usine de fabrication placée dans un endroit reculé, les ouvriers consentaient à faire chaque jour des kilomètres depuis les villages les plus proches, l'industriel admettait très bien le transport, au moyen de voitures traînées par des chevaux, de ses matières premières et produits fabriqués. Les idées ont évolué, surtout avec l'apparition des installations de grande puissance : une usine qui n'est pas raccordée au chemin de fer est considérée généralement comme une erreur ; le personnel doit être logé à proximité de l'usine, soit dans un village de capacité suffisante, soit dans des habita-

Digitized by Google

Fig. 1. — Vue intérieure du bâtiment des tableaux de distribution.

Fig. 2. — Protection par sacs de terre d'une machine de 750 chevaux.

LES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES DE PONT-A-MOUSSON (Texte, p. 821.)

Digitized by Google

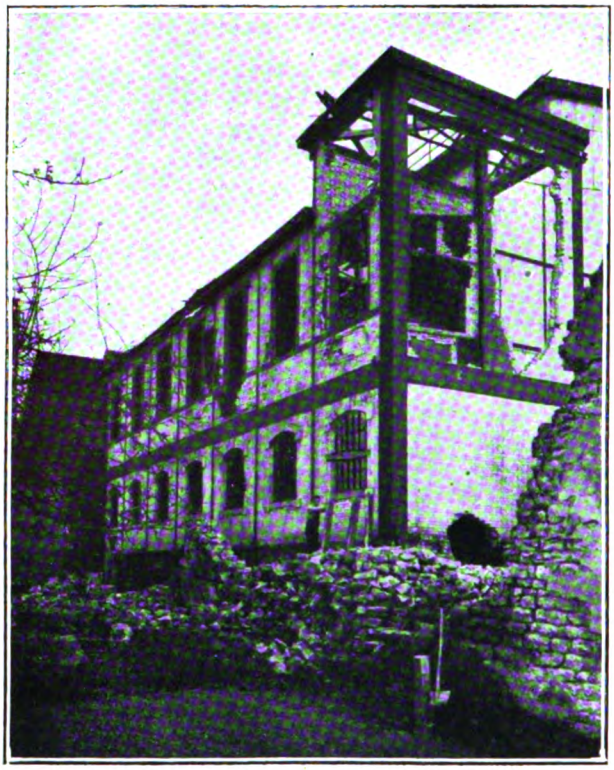


Fig. 3. — Vue extérieure du bâtiment des tableaux de distribution.

Fig. 4. — Effet d'un obus sur un sécheur des gaz de hauts fourneaux.

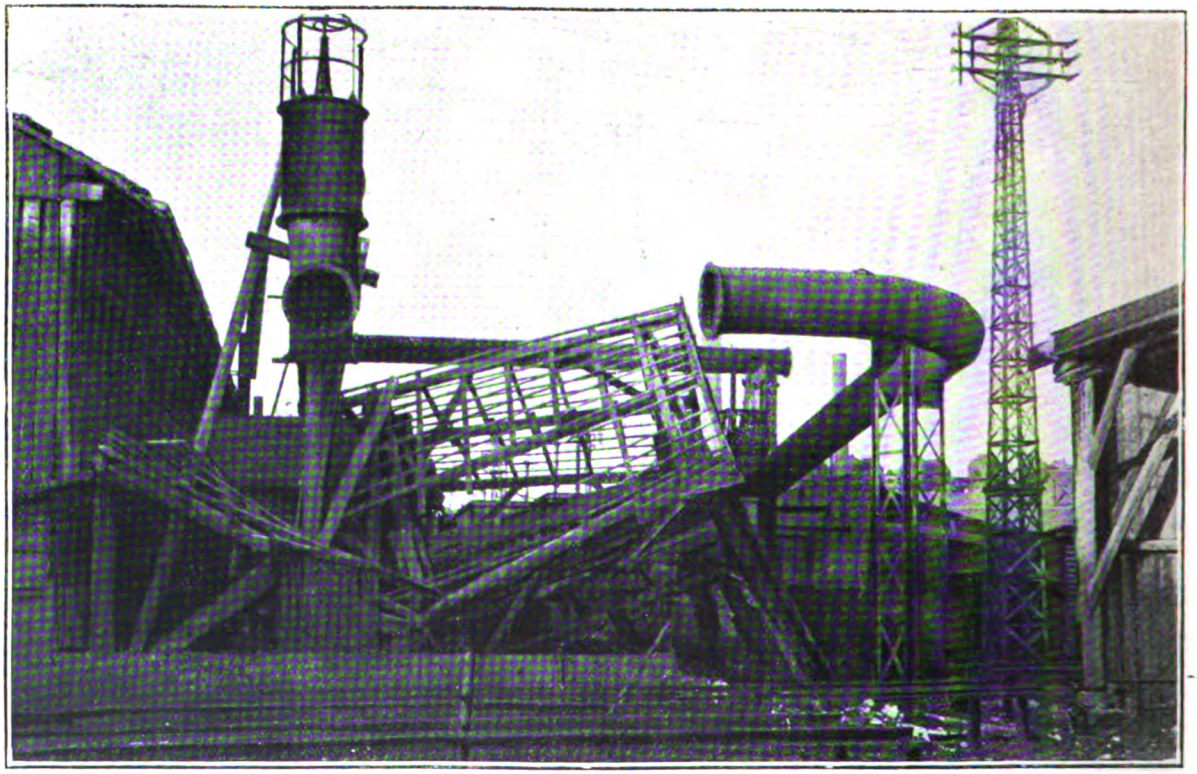


Fig. 5. — Dévastation produite par la chute d'un obus de gros calibre sur un des bâtiments de l'usine.

Digitized by Google

tions construites par l'industriel. Il résulte de cela que l'on est amené parfois à désirer et préférer une certaine distance entre l'usine hydroélectrique et l'usine d'électrolyse.

Or le courant continu ne permet pas d'aller bien loin. Admettons une densité de courant de 1,5 A : mm² dans les barres de cuivre, chiffre qui représente à peu près la valeur moyenne adoptée dans ces installations, 1 cm² de section transmet 150 A. La résistance par mètre, en adoptant une résistivité de 2.10^{-6} ohms-cm pour tenir compte de l'échauffement et des joints, sera de $2 \times \frac{100}{1} 10^{-6} = 0{,}0002$ ohm et la perte par mètre sera de $0{,}0002 \times 150^2 = 4{,}5$ w. Le poids de cuivre par mètre de conducteur sera de 900 g. Si on adopte une tension de 120 v, la puissance transmise par cm² de cuivre sera de 18 kw, la perte par mètre de conducteur sera de 4,5 w et par mètre de distance pour les deux conducteurs de $\frac{9}{2}$ w, soit $\frac{1}{2}$ pour 1 000, ou 0,05 pour 100.

Pour une distance de 100 m, la perte atteint 5 pour 100, avec un poids de cuivre de 180 kg ou 10 kg par kilowatt au départ.

Pour une distance de 500 m, la perte atteindrait 25 pour 100, avec un poids de cuivre de 50 kg par kilowatt au départ.

Avec 240 v, les pertes relatives seraient deux fois plus faibles et les poids de cuivre par kilowatt, deux fois moindres.

Avec 500 v, les pertes relatives seraient plus de quatre fois plus faibles et les poids de cuivre par kilowatt plus de quatre fois moindres.

Si on admet pour les barres de cuivre le prix relativement bas, installation comprise, de 3 fr par kilogramme, on peut dresser les tableaux suivants, correspondant toujours à la densité de courant de 1,5 A : mm².

DISTANCES MÈTRES	PERTE POUR 100 AU DÉPART			PERTE POUR 100 A L'ARRIVÉE			DÉPENSE EN FRANCS PAR KW AU DÉPART			DÉPENSE EN FRANCS PAR KW A L'ARRIVÉE		
	120 V	240 V	500 V	120 V	240 V	500 V	201 V	240 V	500 V	120 V	240 V	500 V
100	5	2,5	1,2	5,3	2,6	1,2	30	15	7,20	31,60	15,40	7,40
200	10	5	2,4	11	5,3	2,5	60	30	14,40	66,70	31,60	14,75
500	25	12,5	6	33,3	14,3	6,4	150	75	36	200	85,75	38,30
1 000	50	25	12	100	33,3	13,6	300	150	72	600	200	81,80

On voit ainsi que, par kilowatt à l'arrivée et une distance de 500 m par exemple, la tension de 120 v oblige à installer un tiers en plus de turbines et génératrices et avoir une chute d'eau de cette proportion plus forte, tandis que ce ne serait qu'un seizième en plus si on avait choisi 500 v, et que le coût de barres de cuivre transmettant la même puissance sera respectivement de 200 fr et 38,50 fr par kilowatt utilisé.

Il n'y a évidemment pas à essayer de dépasser beaucoup 500 v à cause de la nécessité de toucher au circuit sans prendre de précautions spéciales pour effectuer les opérations. Il y a intérêt à écarter les deux extrémités du circuit autant que possible, afin d'éviter les courts-circuits directs et les dérivations importantes. Comme l'isolement est forcément médiocre, surtout dans le cas de l'électrolyse aqueuse, et d'une médiocrité répartie à tout le circuit, le milieu se met au potentiel du sol et peut être touché impunément; aux extrémités, la différence de potentiel avec le sol est la moitié de celle du circuit. En pratique le personnel s'accommode, sans accidents, de 500 v, son isolement pour 250 v étant réalisé par des sabots ou des gants (aux Etats-Unis personne ne travaille à quoi que soit sans être ganté jusqu'au coude) et les contacts directs accidentels n'étant que désagréables pour cette tension.

Courant continu et courants alternatifs transformés. — En ce qui concerne les rendements des machines à courant continu, les dynamos récemment construites pour diverses installations ont donné les chiffres suivants (nous n'envisageons qu'un seul constructeur afin d'avoir des comparaisons valables).

PUISSANCE en kw	TENSION en volts	VITESSE en t:m	RENDEMENTS EN CENTIÈMES		
			pleine charge	3/4 charge	1/2 charge
5 200	520	170	93,7	93,4	92,1
1 200	250	750	93,5	93	92,5
1 200	250	500	93	93	91,5
1 200	250	300	93	93	91,5
Moyenne..... ...			93,3	93,1	91,9

Ces chiffres sont pratiquement constants pour chacune des charges relatives. Ils montrent aussi que la variation de rendement de pleine charge à demi-charge n'est pas bien considérable.

Si maintenant, au lieu de dynamos à courant continu, nous voulions installer des alternateurs triphasés et transformer en courant continu au moyen de commutatrices, nous aurions pour les rendements d'alternateurs 50 p:sec, le facteur de puissance étant voisin de l'unité :

Digitized by Google

PUISSANCE en kw	TENSION en volts	VITESSE en t:m	RENDEMENTS EN CENTIÈMES		
			pleine charge	3/4 charge	1/2 charge
3 500	11 500	500	96,3	95,7	94,3
1 750	2 300	500	96,3	95,8	94,7
Moyenne.....			96,3	95,7	94,5

Pour les transformateurs, alimentant des commutatrices :

PUISSANCE en kw	RENDEMENTS EN CENTIÈMES		
	pleine charge	3/4 charge	1/2 charge
500	97.9	97.9	97.6
1 000	98.0	98.1	98.0
2 500	98.6	98.7	98.6
Moyenne .	98,2	98,2	98,1

et pour des commutatrices destinées à des opérations d'électrolyse :

PUISSANCE en kw	TENSION en volts	VITESSE en t:m	RENDEMENTS EN CENTIÈMES		
			pleine charge	3/4 charge	1/2 charge
500	500	750	95	93.9	91.5
1 000	500	600	95.4	94.8	93.2
2 500	420	420	95.6	95,1	93.6
Moyenne.....			95,3	94,6	92,8

et, en acceptant ces moyennes comme approximations, on obtiendra :

	RENDEMENTS EN CENTIÈMES		
	pleine charge	3/4 charge	1/2 charge
Dynamos courant continu	93,3	93,1	91.9
Alternateurs-Transformateurs-Commutatrices ..	90,1	88,9	86,0
En faveur des dynamos courant continu.....	3,2	4,2	5.9

Avec la fréquence de 25 p:sec, les chiffres sont analogues.

Les commutatrices ont quelquefois un inconvénient ; elles ne permettent pas de variations de tension étendues comme les dynamos à courant continu. Quoique certaines usines, en particulier celles de l'Aluminium Company of America, s'en accommodent fort bien, ainsi que les usines à chlorate de la Société Universelle des Explosifs et établissements du même groupe, d'autres préfèrent avoir la possibilité de faire varier la tension dans d'assez grandes limites, comme de 1 à 0,6. Il faut adjoindre alors à la commutatrice un survolteur-dévolteur de puissance relative d'environ 0,20, généralement sur le même arbre, disposé électriquement entre les bagues et le bobinage induit. Ce survolteur a généralement un excellent rendement ; estimons que la perte supplémentaire qu'il apporte par sa charge propre soit :

Pleine charge.....	4 pour 100
3/4 charge.....	5 id.
1/2 charge.....	6 id.

il fera baisser le rendement global, au maximum, de ces chiffres divisés par 5. Comme il n'est pas toujours en pleine action, il le fera baisser certainement moins en moyenne. Admettons cependant ces valeurs; on aura en faveur des dynamos à courant continu, dans ce cas :

Pleine charge.	3/4 charge	1/2 charge
4,0	5,2	7,1

Les rendements obtenus au moyen de groupes rotatifs moteurs-générateurs sont plus bas. Si la tension dépasse 10 000 v, on ne peut guère se passer de transformateurs ; mais comme notre comparaison s'étend à des dynamos à courant continu, nous devons supposer des hautes tensions alternatives relativement faibles. Sans transformateurs donc, nous aurons pour des puissances analogues :

	RENDEMENTS MOYENS		
	pleine charge	3/4 charge	1/2 charge
Groupes moteurs-synchrones-Dynamos courant continu	89.8	89,1	86,8
Groupes moteurs asynchrones-Dynamos courant continu.....	87,7	86,6	84,1
et finalement pour l'ensemble :			
Alternateurs-Groupes synchrones-Dynamos courant continu.....	86,4	85,3	82,0
Alternateurs-Groupes asynchrones-Dynamos courant continu.....	84,5	82,9	79,5
et comme comparaison générale, en faveur des dynamos à courant continu, des augmentations de rendement :			
Alternateurs-Transformateurs-Commutatrices simples	3,2	4,2	5,9
Alternateurs-Transformateurs-Commutatrices avec survolteurs.....	4,0	5,2	7,1
Alternateurs-Groupes synchrones.....	6,9	7,8	9.9
Alternateurs-Groupes asynchrones.....	8,8	10,2	12,4

Digitized by Google

En réalité les installations avec des groupes asynchrones ont, relativement aux autres, un rendement encore plus faible que ce que nous indiquons, car les alternateurs, ne fonctionnant plus avec facteur de puissance égal à l'unité, ont des rendements inférieurs à ceux que nous avons indiqués.

Avantages de la solution par courants alternatifs transformés. — On voit ainsi nettement tout l'intérêt qui s'attache à la solution par commutatrices, comparativement aux groupes. Signalons, en passant, les perfectionnements des moteurs synchrones obtenus par les Américains. Ces appareils démarrent directement sans à-coup exagéré, plus facilement quelquefois que les moteurs asynchrones, sont économiques aux points de vue du prix d'achat et du rendement, et permettent d'amener à l'unité le facteur de puissance, comme les commutatrices, tandis que les moteurs asynchrones se tiennent vers 0,9 au plus.

Retenons comme la meilleure solution celle par commutatrices avec survolteurs, et comparons-la plus à fond avec celle des dynamos à courant continu montées directement sur les turbines. D'autre part, on choisit du courant continu à 240 v ; en nous reportant aux tableaux qui figurent plus haut, si l'installation de commutatrices permet de supprimer les conducteurs pour courant continu sur une distance de seulement 300 mètres, la perte pour 100 à l'arrivée, dans ces barres, étant de 7,9 à pleine charge, de 5,9 à 3/4 de charge, et de 3,9 à 1/2 charge, et la perte dans les fils à haute tension entre les alternateurs et les transformateurs sur ces 300 mètres étant supposée nulle, on aura, en faveur des dynamos à courant continu :

Pleine charge.	3/4 charge	1/2 charge
— 3,9	— 0,7	+ 3,2

c'est-à-dire que l'avantage des dynamos à courant continu aurait complètement disparu, et au-delà.

Or, dans une installation importante, quand on ne peut plus strictement accoler les appareils d'électrolyse aux dynamos, qu'il faut réserver des espaces pour les transports, les manœuvres, les facilités de fabrication, 300 mètres ne constituent pas une bien grande distance. Dans un autre ordre d'idées, la comparaison, telle que nous l'avons faite, n'est pas correctement établie, et l'avantage des dynamos à courant continu est souvent sensiblement inférieur à ce que nous avons montré.

Si on veut installer des alternateurs, on ne s'astreindra pas à les prendre de même puissance que les dynamos à courant continu. On profitera de ce qu'on peut faire facilement des alternateurs de 10 000, 20 000 kw et plus, tandis que les dynamos à courant continu se limitent pour l'instant vers 5 000 kw pour installer de plus grosses unités qui alimenteront chacune plusieurs commutatrices, ou qui seront toutes mises en parallèle sur un réseau général.

Ces gros alternateurs ont un rendement supérieur à ceux de puissance plus faible, ce qui réduit la différence de rendements entre les deux solutions. Et ce n'est pas tout. Il ne faut pas penser qu'à l'électricien. Sous le prétexte que ces appareils ont un rendement facilement mesurable, il est toujours étrillé et on s'efforce d'en tirer toute la quintessence. Son confrère l'hydraulicien qu'on laisse bien plus tranquille permet de gagner beaucoup plus. De grosses turbines destinées à actionner des alternateurs ont des rendements dépassant 90 pour 100 : des résultats sérieux d'essais aux Etats-Unis, où ces machines puissantes sont maintenant courantes, en font foi.

Pratiquement, dès qu'on dépasse 10 000 kw, on peut arriver à se tenir au-dessus de 85 pour 100 dans des limites considérables de charge et pour des hauteurs de chute très diverses.

Or, nous voyons couramment les dynamos de 100 kw de nos installations attaquées par des turbines ayant 65 à 80 pour 100 de rendement, quelquefois moins.

Tout cela amène donc à cette conclusion :

Dans des installations importantes, de l'ordre de plusieurs dizaines de milliers de kilowatts, le rendement, tel que l'industriel l'entend, c'est-à-dire la puissance électrique tirée d'un débit d'eau donné, est souvent plus grand en installant des alternateurs, des transformateurs et des commutatrices au lieu de dynamos à courant continu, même si ce courant continu ne doit pas être transmis à grande distance.

Il est évident que dans le cas d'alternateurs munis de transformateurs élévateurs, le rendement diminue un peu, mais alors il n'y a pas lieu de comparer avec des dynamos à courant continu.

Au point de vue pratique, les opérations s'effectuent tout aussi bien avec des commutatrices. Nous avons déjà indiqué que l'Aluminium Company of America qui avait des dynamos à courant continu dans l'installation de Withney qu'elle a achetée de la Southern Aluminium Co, leur a fait adjoindre des bagues pour en faire des commutatrices. Cette compagnie a maintenant environ 100 000 kw de commutatrices installées, la plupart sans survolteurs. La Société Norvégienne des Nitrures en possède environ 30 000 kw, dont 2/3 à peu près avec survolteurs pour la fabrication de l'aluminium, et la Société Universelle des Explosifs, 30 000 kw, également, sans survolteurs, pour la fabrication du chlorate de sodium. On ne peut donc pas dire que cette solution n'a pas fait ses preuves.

Il faut maintenant examiner le prix des machines. Les dynamos à courant continu, de l'ordre de 1 000 à 1 500 kw, coûtaient avant la guerre, avec leurs accessoires environ 35 fr par kilowatt.

Les alternateurs de la même puissance valaient 20 à 25 fr avec tableau simple, les commutatrices avec leurs transformateurs et tableaux, 50 fr, soit un total de 70 à 75 fr par kilowatt ou le double de ce que coûtent les dynamos à courant continu. Mais il suffit d'abord de regarder ci-dessus pour voir immédiatement que si on peut économiser des conducteurs sur une distance de deux cents et quelques mètres, avec une tension de 240 v, on regagne cet excès de dépense, même en tenant compte du coût, relativement peu élevé d'ailleurs, d'une ligne à haute tension, lequel est de l'ordre du franc par kilowatt pour cette même distance.

De plus, là encore l'intérêt des grosses unités, possi-

Digitized by Google

bles avec alternateurs, impossibles avec machines à courant continu, apparaît. Le prix par kilowatt des gros alternateurs baisse, on peut gagner 5 fr par exemple; le prix des turbines baisse beaucoup, 5 fr, 10 fr par kilowatt, quelquefois plus ; on supprime une grande quantité de vannes, tubulures, etc., avec gain de même ordre. On diminue souvent de plus de moitié la surface du bâtiment, et surtout on gagne sur les fondations, les canaux de fuite, etc. Très souvent on peut mettre plus facilement des unités à axe vertical économiques, supprimant des coudes de conduites encombrants. Rien que pour bâtiment et fondations, si on admet 15 m de largeur et 6 m entre axes de machines de 1 000 kw, on a 0,090 m² par kilowatt ; en mettant des alternateurs de 5 000 kw il suffira quelquefois de doubler cette surface, soit alors 0,036 m² par kilowatt et un gain de 0,054 m² par kilowatt. Si le mètre carré coûte 350 fr total des bâtiments, excavations, terrassements, bétonnages, fondations, évacuation d'eau, ponts-roulants, chiffre quelquefois dépassé, on fait en adoptant des alternateurs une économie de 19 fr par kilowatt rien que de ce chef, dépassant de beaucoup les frais de bâtiments pour commutatrices et transformateurs. On place même maintenant quelquefois les transformateurs et appareils à haute tension en dehors des bâtiments. On arrive donc à cette conclusion :

Dans des installations importantes, de l'ordre de plusieurs dizaines de milliers de kilowatts, le prix d'installation est souvent de même ordre de grandeur en installant des alternateurs, des transformateurs et des commutatrices au lieu de dynamos à courant continu, même si ce courant continu ne doit pas être transmis à grande distance.

Nous devons insister maintenant sur un autre avantage des installations en courant alternatif. On tend de plus en plus à constituer de grands réseaux, en raccordant ensemble diverses usines, ce qui n'est possible qu'avec du courant alternatif. Indépendamment d'autres avantages comme celui de pouvoir plus aisément entreprendre certaines autres fabrications, on a immédiatement celui de ne pas interrompre forcément la production si l'usine hydraulique est arrêtée, les autres usines hydrauliques pouvant alors porter secours.

Même pour un industriel qui ne désire pas ou ne peut pas se relier à un grand réseau de distribution, il y aurait souvent plus d'intérêt qu'on ne le pense à utiliser le courant alternatif pour grouper ensemble toute la puissance disponible. Supposons une usine de 15 000 kw où on aurait placé 15 unités à courant continu de 1 000 kw séparées ou réunies en parallèle à raison de quelques-unes seulement par groupe. Comment peut-on faire pour utiliser quelques petits torrents ou ruisseaux voisins susceptibles de livrer tel 200 kw, tel 100, tel 50 seulement, constituant quelquefois un ensemble de 1 000 à 1 500 kw, près de 10 pour 100 de la puissance totale, et susceptibles parfois de certaines régularisations faciles, utiles en basses eaux de l'usine principale. Généralement on se contente de ne rien faire.

On pourrait évidemment constituer un réseau à courant alternatif spécial et ramener l'énergie à l'usine principale où on installerait des groupes de transformation en courant continu. Chacun des ruisseaux captés aurait une petite usine avec vannes, turbines, régulateurs, alternateurs, tableaux, personnel de surveillance ; toutes devraient marcher en parallèle sur le petit réseau général. On recule devant ces difficultés. On recule devant le prix, car on voit chacune de ces installations comme le prétexte d'une de ces grandes usines centrales, joie des entrepreneurs et terreur des industriels économes. Cependant, supposons que ce même industriel ait à installer sur un réseau alternatif une pompe absorbant 100 kw, il se contentera de faire commander un moteur asynchrone à cage d'écureuil, par exemple, c'est le modèle le moins cher, et une pompe quelquefois sans vanne, par son service des achats. Son service d'entretien construira une petite baraque, placera les tuyaux nécessaires et mettra le moteur et la pompe sur leurs fondations. Il amènera tout simplement trois fils depuis la ligne principale, et ne placera souvent aucun tableau ni appareillage électrique. Tout cela paraîtra bien simple et sans aucune difficulté. Si au lieu d'une pompe pour monter de l'eau, on suppose que l'industriel a de l'eau à faire descendre dans une turbine, il lui suffira de placer le même tuyau, et remplacer la pompe par une turbine. Tout le reste ne changera pas. Aucun régulateur, aucun tableau ne devra être placé ; le moteur à cage d'écureuil deviendra de lui-même une génératrice. On mettra en marche un certain jour et on le laissera tout seul sans avoir en permanence un homme ou plusieurs regardant tourner la machine. On viendra voir de temps en temps, une fois par jour par exemple, comme on aurait fait pour une pompe.

De même que la pompe s'arrangerait avec son moteur asynchrone pour que ce dernier absorbe sur le réseau une puissance électrique correspondant à son débit d'eau et à la hauteur de refoulement sans qu'on ait à intervenir dans leur accord, la turbine s'arrangerait avec le générateur asynchrone pour que ce dernier livre au réseau une puissance électrique correspondant à son débit d'eau et à la hauteur de chute sans qu'on ait davantage à intervenir dans leur accord. Cette livraison se ferait automatiquement à la fréquence et à la tension voulues. Tout appareil de réglage et de mesure serait inutile.

Naturellement cela ne peut bien marcher que si l'on raccorde la ou les installations de cette nature à un réseau plus important qu'elles — mettons au moins six à dix fois — avec machines synchrones ordinaires et personnel ou dispositifs fixant la tension désirée.

Nous avons insisté sur ce dernier point qui donne dans certains cas un intérêt assez grand à la solution du réseau général triphasé, et surtout parce qu'elle semble inconnue de beaucoup d'industriels français, malgré que les alternateurs asynchrones aient fait l'objet de nombreuses et anciennes études dans notre pays. Quelques installations ont été faites en Suisse, et on en parle vivement aux Etats-Unis en ce moment.

P. Bunet.

Digitized by Google

Sur le captage et utilisation de la puissance des marées

A la suite de la publication, dans les numéros de la « Revue générale de l'Electricité » du dernier trimestre 1918, d'une fort importante étude de M. Maynard sur l'utilisation de la force motrice des marées, nous avons reçu de M. Gouédard un article sur le même sujet, qui a paru dans le numéro du 29 mars et où l'auteur se déclarait d'accord avec M. Maynard sur l'ensemble de la question, mais présentait des observations sur quelques-uns des points examinés par ce dernier. Dans l'article ci-dessous, M. Maynard reprend à son tour l'examen de ces diverses observations et en profite pour préciser et développer ce qu'il a antérieurement écrit; il termine en insistant sur la nécessité de l'établissement de bassins régulateurs si l'on ne veut pas s'exposer à ce que le ressac et le déferlement des vagues produisent des variations brusques et extrêmement importantes dans la puissance développée par les turbines.

Dans la « Revue générale de l'Electricité » du 29 mars 1919, M. Gouédard, ingénieur du service des forces hydrauliques à la Compagnie générale d'Electricité, a publié un article très intéressant sur l'utilisation de la puissance des marées, que nous avons lu avec grande attention.

Nous sommes bien aise de voir que M. Gouédard, arrive aux mêmes résultats que nous, et approuve nos conclusions. Cela est d'autant plus important, qu'on nous avait représenté les ingénieurs et sociétés d'industries hydro-électriques de montagne, comme peu favorables à la mise en valeur de la force hydraulique des marées.

Ceci dit, nous avons quelques observations à formuler au sujet des réserves faites par M. Gouédard sur certains points de notre étude; les voici, en suivant l'ordre adopté par cet ingénieur.

Tout d'abord, il déclare avoir étudié en détail le problème de l'utilisation des marées et en avoir constaté la complexité. Nous regrettons qu'il n'ait pas publié le résultat de ses études, cela nous aurait peut être évité un travail considérable, en nous dispensant d'effectuer la nôtre, ou tout au moins aurait pu contribuer à l'éclaircissement de la question.

I. — **Rendement des cycles**. — Théoriquement la courbe des marées est sinusoïdale, mais, en réalité, pas du tout régulière; on s'en convainc rapidement en relevant les courbes, comme nous l'avons fait nous-même, et deux marées ne sont jamais semblables. Pour une étude on est obligé de considérer une marée type, mais, en pratique, il faut prévoir des dispositions spéciales pour parer à l'irrégularité de certaines marées, qui aurait pour effet de nuire à la marche de l'usine, et même d'arrêter les turbines. C'est un point qui a trop été perdu de vue.

II. — **Accumulation hydraulique**. — Le sens des 2e, 3e, 4e et 5e alinéas, nous paraît peu précis; en effet, lorsque le dispositif comporte un bassin et un réservoir, le refoulement des eaux doit se faire surtout à marée baissante, quand l'eau du bassin s'écoule dans la mer, et, à marée montante, quand l'eau est introduite dans le bassin, puisque c'est à ces moments qu'on dispose d'un excès de puissance, alors qu'à la pleine mer, les turbines ne peuvent plus être alimentées par les eaux de la mer ou du bassin, puisque la chute arrive à s'annuler. Il est vrai qu'on pourrait utiliser une partie de la puissance développée lors du remplissage du bassin, mais ce ne serait qu'un faible apport.

Mais, en aucun cas, le pompage ne peut être effectué à la pleine mer, puisque c'est à partir de ce moment qu'on est obligé d'avoir recours aux eaux refoulées pour alimenter les turbines pendant tout l'intervalle de temps où il n'y a pas la chute minimum créée par la dénivellation. En outre en effectuant le refoulement en un temps très court, il faudrait développer une puissance énorme dont on ne dispose pas ; d'ailleurs le pompage doit être effectué de telle sorte que la puissance nette disponible soit égale pour les deux parties du cycle.

Dans le cas de bassin avec bief, la même situation se présente lorsque l'un est utilisé pour l'écoulement et l'introduction de la marée, mais si le bief n'est utilisé que pour recevoir les eaux de la mer et du bassin, ce qui est le cas particulier et le seul envisagé par M. Gouédard, on peut affecter une partie de la puissance développée par l'introduction de la marée dans le bief, quelque temps avant et après la pleine mer, à refouler de l'eau dans le bassin, mais la puissance ainsi développée en quelques heures réduit fortement la puissance disponible pour les besoins extérieurs, et la chute se trouve réduite par l'introduction d'une plus grande masse d'eau provenant du bassin dans le bief. Par contre la hauteur de refoulement est plus faible, puisque l'eau est puisée à un niveau moyen peu différent de celui de la pleine mer.

3e *alinéa*. — Il est bien certain que l'eau introduite dans le bief par les turbines employées au refoulement a pour effet de surélever le plan d'eau de ce bief, mais c'est prévu, et ce n'est que la partie excédente de la puissance développée sur la puissance qu'on veut maintenir disponible, qui est utilisée en refoulement.

Il s'ensuit (4e alinéa), que la quantité d'énergie intermittente à consacrer au refoulement, n'a que la limite qu'on juge à propos, pour chaque installation, de lui fixer, selon la disposition des lieux et le cycle employé, et non une limite nettement déterminée comme le dit M. Gouédard.

Digitized by Google

6e alinéa. — Égalisation de toutes les marées d'un même lieu. Nous ne voyons pas de raisons pour que cette égalisation ne puisse être obtenue par les moyens que nous avons indiqués. L'assertion de M. Gouédard sur ce point ne nous paraît nullement fondée, attendu que cette égalisation n'est qu'une question d'altitude et de capacité de réservoirs. Quant à la création de réservoirs à fond élevé, pourquoi seraient-ils d'un prix prohibitif? Alors qu'on pourra souvent les disposer et les construire économiquement, notamment en les faisant circulaires avec bétons et maçonneries armés. Aucune raison n'est donnée par cet ingénieur.

En ce qui concerne la production d'une puissance égale pour toutes les marées, par l'accumulation hydraulique, elle est parfaitement réalisable, contrairement à l'affirmation de M. Gouédard, mais il est évident qu'elle ne peut l'être économiquement que si la disposition des lieux s'y prête, par exemple par l'absence d'agglomérations sur le point choisi, en raison de la grande étendue des bassins à créer; c'est ce que nous avons dit, mais cette régularisation sera assez souvent possible, et il sera inutile d'avoir une usine thermique doublant l'usine hydraulique. D'ailleurs cet ingénieur oublie qu'on est libre de ne pas effectuer une régularisation de puissance, absorbant toute l'énergie disponible des grandes marées à refouler de l'eau, mais qu'on peut ne régulariser la puissance qu'à un nombre déterminé de chevaux, de manière à rester pour chaque cas dans des limites raisonnables de dépenses.

Dans ces conditions, où est l'utilité d'adjoindre à l'installation hydraulique une usine thermique, qui entraînerait une grosse dépense, dans le but de relever à un chiffre déterminé la puissance en petites marées, alors qu'avec l'accumulation hydraulique on pourra, à moins de frais en général, régulariser la puissance au chiffre choisi, lequel pourra être inférieur ou égal — selon la disposition des lieux — à la puissance constante maximum qui pourrait être obtenue ?

Contrairement à l'opinion de M. Gouédard, nous persistons à déclarer que le problème de la production d'une puissance égale pour toutes les marées est pratiquement résolu; ce n'est toujours qu'une question d'altitude et de capacité de réservoirs, mais le mécanisme de cette régularisation est difficile à saisir. Cet ingénieur n'appuie d'ailleurs son opinion d'aucune raison plausible.

Dans le dixième alinéa, il est dit que toute la question revient à connaître quelle quantité d'énergie intermittente il faut utiliser; c'est évident, mais cette détermination avec le problème ainsi posé exigerait de longs tâtonnements et un travail important, alors que c'est une autre considération qui doit guider pour déterminer facilement et à coup sûr, la puissance constante à obtenir, et, par suite, la quantité d'énergie intermittente à employer pour le refoulement.

Dans le onzième alinéa, il est dit qu'on ne peut songer à refouler l'eau de la mer dans le bassin qu'au moment de la pleine mer, afin de réduire les hauteurs d'élévation.

Ce serait évidemment l'idéal, mais M. Gouédard a oublié qu'il n'est pas possible de refouler dans de bonnes conditions de l'eau à la pleine mer, ainsi que nous l'avons expliqué plus haut, sauf pour le cas particulier qu'il a envisagé. D'ailleurs on pourra avoir, dans certains cas, avantage à pomper l'eau pendant un certain temps, à un niveau beaucoup plus bas que celui de la pleine mer, il n'y a donc rien d'absolu dans la question du refoulement.

Au surplus, le résultat réel est tout différent de celui indiqué par cet ingénieur. En effet, il indique qu'en refoulant à la pleine mer 2 850 000 m³ d'eau dans le bassin, on obtient après avoir absorbé 157 000 ch, une majoration de 60 pour 100 de la puissance produite.

Or, pour le volume d'eau de 180 m³ introduit dans le bief pendant 6 h 36′ sous 2,06 m de chute, on obtient avec la formule 10 Q h utilisée par M. Gouédard, une puissance totale de..... 24 473 ch

pendant le reste de la marée, soit 6 h 09′, c'est l'eau du bassin qui s'écoule dans le bief sous une chute moyenne de 2,21 m pour 180 m³ : sec. la puissance développée est de 24 465

Soit ensemble..... 48 938 ch

En appliquant le refoulement tel qu'il est préconisé par cet ingénieur, et en admettant qu'il soit effectué sur 1 m en 3 h (1 h 1/2 avant et 1 h 1/2 après le plein), la hauteur d'élévation serait de 0,95 m, et la puissance absorbée de 14 085 ch (soit un peu moins que le chiffre indiqué par M. Gouédard).

Mais, pendant 2 h 45′, l'eau refoulée écoulée en plus dans le bief provoquera une surélévation de 0,30 m du plan d'eau, de sorte que la chute sous laquelle l'eau de la marée agira ne sera plus que de 1,76 m et la puissance développée se réduira à..... 20 902 ch

Il s'ensuit que la puissance nette disponible en flot n'est plus que de 20 902 — 14 085 = 6 817 ch..... 6 817

seulement en 6 h 36′.

Par contre, la puissance totale développée en 6 h 09′ par l'eau du bassin y compris l'eau refoulée sous la chute de $2{,}21 + \frac{1{,}00}{4} - 0{,}21$ de surélévation du plein d'eau de bief = 2,25 m est de..... 45 909

Soit en tout..... 52 726 ch

La majoration réelle de puissance n'est donc que de 52 726 — 40 938 = 3 788 ch, soit environ moins de 1/13 de la puissance primitive donnée par le cycle, au lieu de 60 pour 100 indiqués par M. Gouédard.

Mais alors que les puissances développées par la marée et les eaux du bassin étaient sensiblement égales avec le cycle sans refoulement, avec ce dernier, la puissance nette produite par la marée n'est que le 1/7 environ de celle produite par l'eau du bassin. Le fonctionnement du cycle devient donc très défectueux par l'emploi du refoulement tel qu'il est préconisé par M. Gouédard.

Cet exemple montre, comme nous l'avons dit, que le

Digitized by Google

refoulement doit se faire dans des conditions toutes différentes de celles indiquées par cet ingénieur, et de telle sorte que la puissance disponible développée dans les deux phases du cycle soit sensiblement égale.

Faisons enfin remarquer que la hauteur d'élévation est majorée de 1,37 par les coefficients de réduction, et que la hauteur d'utilisation de l'eau refoulée est réduite aux 73 centièmes. La première étant de $0{,}95 \times 1{,}37 = 1{,}30$ m, et la seconde de $2{,}25 \times 0{,}73 = 1{,}643$ m, la hauteur supplémentaire d'utilisation de l'eau refoulée peut donc être considérée comme égale à $1{,}643 - 1{,}30 = 0{,}343$ m et dès lors la majoration réelle de puissance obtenue n'est que d'environ $\frac{2\,850\,000 \times 1\,026 \times 0{,}343}{270\,000} = 3\,715$ ch, soit donc sensiblement le chiffre déjà obtenu.

Quant aux pompes centrifuges, dont le rendement est évalué à 60 pour 100, nous ferons remarquer qu'aujourd'hui on dépasse 85 pour 100; c'est ainsi qu'à Saint-Nazaire on installe des pompes très puissantes dont le rendement garanti est de 85 pour 100.

L'accumulation hydraulique pour le captage de la puissance des marées a une très grande importance, et il faudra la pratiquer résolument, à moins d'impossibilité absolue, car elle jouera un rôle important dans le fonctionnement de l'installation, non seulement pour rendre la puissance développée continue, la rendre constante ou pour la régulariser, et enfin pour l'égaliser au besoin pour toutes les marées, mais encore pour d'autres raisons fort importantes qui ont échappé à M. Gouédard. Qu'il réfléchisse donc de nouveau au problème très complexe que constituent le refoulement de l'eau et son utilisation raisonnée, et il reconnaîtra que l'accumulation hydraulique est indispensable, et qu'en aucun cas une usine thermique ne pourra remplacer le refoulement dans ses effets pour le bon fonctionnement de l'installation.

Dès lors une usine thermique est inutile et ce ne sera qu'exceptionnellement et pour des cas tout à fait spéciaux, où le refoulement des eaux sera impossible, qu'on pourra être forcé de recourir aux moteurs à vapeur, mais on perdra tous les avantages de l'accumulation hydraulique.

III. — **Variation de la hauteur de chute. — Fonctionnement des turbines en développant une puissance constante.** — Ce système a été indiqué et étudié par M. Esnault-Pelleterie dans le brevet qu'il a pris en 1915 ; il en a fait une théorie complète très intéressante et utile à consulter, mais ce système de fonctionnement présente divers inconvénients que M. Esnault-Pelleterie signale lui-même.

En ce qui concerne le maintien d'une dénivellation constante entre le niveau du bassin et la mer et vice-versa, il n'y a pas de difficultés à la réaliser en pratique; c'est une question de réglage de débit et de puits d'équilibre.

IV. **Mouvement des eaux. — Régime d'écoulement.** — M. Gouédard déclare que les auteurs de cycles ne se sont guère préoccupés de l'écoulement des eaux, alors que son importance est capitale. C'est exact, mais c'est une erreur de sa part, en ce qui nous concerne, et si nous n'avons pas développé cette question dans notre étude, c'est qu'elle était déjà bien longue pour une revue. C'est également pour cette raison que nous n'avons pas parlé des renforceurs de chute qui pourront être très utiles pour régulariser la puissance.

L'observation montre qu'un estuaire se remplit et se vide toujours complètement à chaque marée, même si on rétrécit dans une certaine mesure la section d'entrée et on constate que l'inondation de l'estuaire se tend à la pleine mer, et qu'il n'en résulte qu'une très faible dénivellation par rapport au niveau atteint par la pleine mer. C'est ainsi qu'à la Rochelle, la retenue des chasses, dont la longueur atteint au moins 3 km, se remplissait et se vidait par deux pertuis vannés de 2,25 m de largeur seulement. D'autre part, le mouvement des eaux de deux grands bassins en communication se vidant ou se remplissant, s'effectue suivant des lois spéciales, tenant à la fois de l'écoulement sous chute et du principe des vases communiquants. Il y a en quelque sorte gonflement ou soulèvement des eaux. Mais lorsqu'on écoule des eaux dans un bief, par exemple, comme on le fera pour un captage de marées, il se produira dans les eaux de ce bief un mouvement oscillatoire à longue période, d'autant plus accentué que le débit sera plus grand ; c'est pour cela, en particulier, que des moyens de soustraire l'orifice des conduits de fuite des turbines à ces dénivellations devront être aménagés, comme nous l'avons indiqué.

Voici un résultat d'expérience à ce sujet : lorsqu'on a rempli d'eau le bassin à flot du port de la Pallice, près de la Rochelle, de 700 m de longueur sur 400 m de largeur, on fut surpris de constater qu'à intervalle à peu près réguliers, les eaux se surèlevaient alternativement de 0,15 à 0,20 m à chaque extrémité du bassin, au lieu de conserver une surface horizontale.

Pour un captage de la force motrice des marées, il y aura lieu de faire état de ces faits pour établir, suivant des dispositions spéciales, les débouchés à ménager pour les eaux à écouler ou à introduire. D'ailleurs ces opérations de vidange et de remplissage de biefs et de bassins seront facilitées par divers artifices d'aménagements, qui auront une assez grande influence sur leur fonctionnement.

V. — **Ensablement. — Dragages.** — Il y a presque toujours des apports de vase, sable, graviers ou galets dans les estuaires, mais il est assez souvent facile de s'en garantir par quelques travaux appropriés, et ce n'est pas cette cause qui pourra empêcher un captage. Il y a d'ailleurs lieu de remarquer que la fermeture des baies aura en général pour effet de supprimer les apports sableux, en particulier, et même de faciliter le cheminement des apports. Le prix d'extraction du mètre cube de sables par dragues aspiratrices est en général de 0,15 à 0,20 fr; le prix de 0,32 fr indiqué par M. Gouédard est trop élevé ; il s'applique à un cas particulier.

Digitized by Google

VI. — **Conclusions.** — Contrairement à l'opinion de M. Gouédard nous persistons, comme nous l'avons dit, à déclarer qu'avec l'accumulation hydraulique, il est possible d'égaliser la puissance de toutes les marées, aucune raison n'existant pour que cette mesure ne puisse être appliquée. C'est seulement une question d'altitude et de capacité de réservoirs.

6e alinéa. — Résolution du problème d'un captage. Cycle à adopter. — L'établissement d'un captage de force motrice des marées est non seulement lié à la disposition des bassins naturels à aménager, mais encore à d'autres conditions qui sont prédominantes et déterminent nettement le cycle à adopter. Les solutions qui peuvent être envisagées sont assez nombreuses toutefois ce serait une erreur de croire, comme le fait M. Gouédard, qu'on peut choisir entre un grand nombre de cycles, car celui qui réalise les meilleures dispositions se présente immédiatement à l'esprit.

Tous les cycles, sauf quelques-uns de ceux que nous avons décrits, qui sont nouveaux, se ressemblent, par la raison qu'ils sont compris entre celui que donne l'écoulement et l'introduction, en un temps très court, sous la chute maximum des eaux retenues, et l'écoulement et l'introduction des eaux sans retenue ou sans chute pendant toute la marée. On peut ainsi établir des cycles dont l'écoulement et l'introduction des eaux se fait en une, deux, six, sept, etc. heures ; plus la durée d'écoulement est courte, et plus la puissance obtenue est considérable, mais, par contre, plus le volume d'eau à refouler pour assurer la régularisation de la puissance et la marche continue des turbines est important.

Le cycle Maire, dont il est question, est celui de l'écoulement pour deux bassins en six heures ; il a été breveté en 1879, par M. Courtenay et en 1912 par M. Pein, il n'est donc pas nouveau.

Ces observations faites, nous sommes bien aise de voir M. Gouédard, dans son intéressant travail, arriver aux mêmes conclusions que nous, d'autant plus que cet ingénieur semble refléter l'opinion de la puissante Compagnie générale d'Electricité, à laquelle il appartient.

De nombreuses études sur le captage de la puissance des marées seront sans doute encore publiées ; mais nous ne saurions trop mettre en garde leurs auteurs contre l'extrême complexité du problème, dont bien peu se doutent, et qui n'apparaît que lorsqu'on pénètre plus avant dans la question. C'est d'ailleurs, à notre avis, la cause prédominante, avec le manque de connaissances suffisantes sur la mer, pour laquelle le problème du captage de la puissance des marées n'avait fait aucun progrès. En effet, quand on compulse les brevets pris ou les articles publiés sur cette question, on s'aperçoit que leurs auteurs ne font que l'effleurer et tournent court.

On se fera une idée de la complexité du problème, quand nous aurons dit que les trois systèmes à bassin unique, à bassin avec bief, et à bassin sans bief, comportent plus de quatre-vingt-quatre solutions pouvant toutes être pratiquement appliquées.

Le captage de la puissance des marées se présente donc dans des conditions totalement différentes du captage des hautes chutes de montagnes.

Nous avons répondu aux diverses objections faites à notre étude par M. Gouédard. Mais il est un autre point — et c'est le plus, et *en fait le seul important* — qui a complètement échappé à cet ingénieur, comme d'ailleurs à tous ceux, sans exception, qui se sont occupés du captage de la puissance des marées. Il s'agit du maintien du niveau réel de la mer au débouché des conduits de fuite ou d'amenée des eaux des turbines. Sans cette fixité de niveau, tout captage de force motrice des marées est complètement impossible ; il faut donc de toute nécessité employer des bassins régulateurs du niveau de la mer, comme nous l'avons indiqué dans notre brevet et notre étude.

La mer est en effet soumise, surtout en aval des ouvrages, à un ressac continuel, et, en mauvais temps, au déferlement des vagues, dont les effets comme pression statique, et surtout dynamique, sont très importants et souvent insoupçonnés.

En voici un exemple : Un ingénieur du Service maritime, en fonction depuis près de cinq ans dans ce service, se trouvait devant l'écluse d'un bassin à flot complètement rempli, dont les portes étaient fermées, alors qu'en aval la mer était très basse mais fort agitée. L'éclusier avec lequel il était, lui ayant dit que lorsque le ressac était assez fort, il arrivait à faire ouvrir les portes de l'écluse, malgré la forte pression que celles-ci subissaient, il vint nous trouver quelque peu surpris de cette assertion, à laquelle il ne croyait pas, et ce ne fut que lorsque nous lui garantîmes l'exactitude rigoureuse de fait, dont nous avions déjà été témoins, qu'il se rendit à l'évidence.

Cet exemple montre qu'il est nécessaire de bien connaître les effets de la mer pour l'installation d'un captage de force motrice des marées.

Or, si au débouché des conduits des turbines on n'établissait pas de bassins régulateurs du niveau de la mer, la hauteur de chute serait soumise à des variations rapides, continuelles et très importantes, qui auraient pour effet, non seulement de diminuer fortement la puissance développée, mais encore de réduire la vitesse de rotation des turbines, d'occasionner des coups de bélier, d'arrêter et briser les turbines, et même de faire pénétrer l'eau dans le bassin par l'inversion du courant des eaux dans les conduits. Ces bassins sont d'autant plus nécessaires que la chute est plus faible.

On comprend que, dans ces conditions, il soit absolument impossible d'établir un captage de force motrice des marées, sans bassins régulateurs. Ces bassins fonctionnent d'ailleurs très bien ; le niveau y est d'une fixité remarquable, ainsi que nous l'avons constaté sur un ouvrage de ce genre établi près Pornic, à un moment où la mer, à l'extérieur, était fort agitée.

Ces bassins constituent donc la partie indispensable d'une installation de force motrice : toutes les autres conditions, y compris l'écoulement des eaux, ne sont que secondaires

Mais on ne peut qu'être surpris de constater qu'aucun

Digitized by Google

auteur d'étude ou de brevet sur l'utilisation de la force motrice des marées ne se soit aperçu de l'importance considérable du maintien d'un niveau stable pour la mer au débouché des turbines, et que la solution de ce problème n'ait jamais été abordée.

En résumé, le problème du captage et de l'utilisation de la puissance des marées est, à notre avis, complètement résolu d'une manière pratique ; les dispositions à adopter peuvent être nettement déterminées en peu de temps, par l'examen des lieux, qui indiquera comment l'étude du projet devra être orientée.

Mais nous ne saurions trop insister sur la nécessité pour chacun, dans cette question complexe, de se maintenir dans sa sphère de compétence, sous peine d'aboutir à un échec, ou de créer une installation défectueuse, ce qui serait d'un effet déplorable pour le début. Un projet de captage doit être étudié par la collaboration étroite et constante de trois spécialistes : un ingénieur de travaux maritimes ayant l'expérience de la mer, un ingénieur constructeur de turbines et un ingénieur électricien. C'est à l'ingénieur de travaux maritimes qu'il incombe de déterminer d'abord par la visite des lieux, les dispositions à adopter pour le projet; il en découle immédiatement le cycle à employer et la puissance qui sera développée, au moyen desquels l'ingénieur constructeur de turbines déterminera les éléments de ces appareils. Enfin l'ingénieur électricien, lorsqu'il connaîtra la vitesse de rotation des turbines et la puissance développée par chacune d'elles, déterminera à son tour, la nature et l'intensité du courant électrique.

Telle est la marche qui doit être suivie pour l'établissement d'un projet de captage de la puissance des marées en un point quelconque des côtes; toute autre manière de procéder n'aboutirait qu'à effectuer un travail inutile et à retarder l'exécution du projet.

Tous les éléments du problème sont donc connus.

Ne se trouvera-t-il donc pas en France un homme énergique qui prendra enfin en main le captage de la puissance des marées, en groupant au besoin les puissantes sociétés financières, industrielles, électriques, etc., de notre pays, dans le but de créer une société d'études pour aboutir rapidement à un résultat pratique?

Ce serait navrant, et alors des étrangers pourraient être incités à venir exploiter cette richesse nationale.

Nous osons espérer qu'il n'en sera pas ainsi, et que bientôt nous verrons enfin se fonder une puissante société d'études et de réalisation.

Nous avons fait et publié notre étude dans l'unique but de voir enfin aboutir l'utilisation de la puissance des marées, et notre plus vif désir est d'arriver à ce résultat qui est d'ailleurs conforme à l'intérêt de notre pays; c'est dire que notre concours est entièrement acquis à cette œuvre.

E. MAYNARD,
Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Pithiviers, précédemment ingénieur du Service maritime à Saint-Nazaire.

Notes pratiques

Sur l'amélioration du facteur de puissance.

Dans notre numéro 14 du 5 avril 1919, page 505, nous avons indiqué un procédé simple permettant de transformer automatiquement pendant la marche à vide un moteur asynchrone de construction ordinaire en moteur synchrone. Ce moyen présente un certain intérêt, étant donné l'effet désastreux de la marche à vide des moteurs asynchrones sur le facteur de puissance d'un réseau, aussi avons-nous reçu de nombreuses demandes sur la réalisation pratique de ce procédé.

Nous nous empressons aujourd'hui de satisfaire à ces désirs en donnant d'une façon détaillée les schémas que l'on peut utiliser dans ce but, n'ayant en vue dans tout cela que l'intérêt général et nous estimant suffisamment heureux si nous apprenons que quelques-uns de nos lecteurs ont pu en tirer parti.

On sait que le procédé consiste à injecter purement et simplement du courant continu dans le rotor d'un moteur asynchrone dont les bagues sont accessibles. Ce courant continu détermine l'apparition de pôles à la surface du rotor et lorsque le glissement est faible, à vide par exemple, le moteur s'accroche automatiquement.

Bien entendu le procédé serait parfait avec un bobinage spécial sur le rotor, mais nous avons plutôt cherché une combinaison qui s'appliquerait sans frais aux moteurs actuels qui sont aujourd'hui légions.

La figure 1 représente le schéma du montage au point de vue expérimental, la figure 2 est sa réalisation pratique à l'atelier.

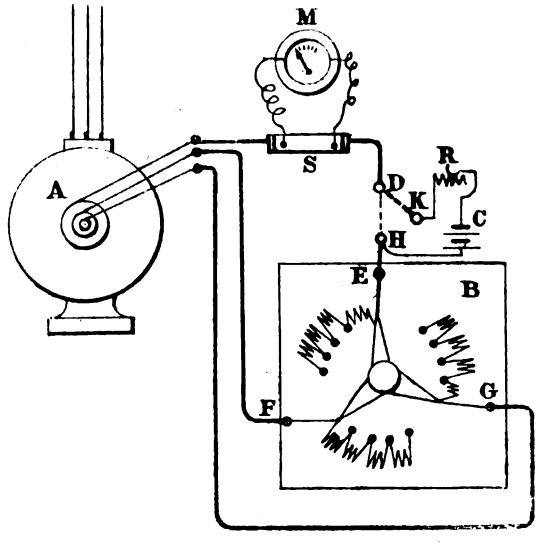


Fig. 1. — Dispositif expérimental.

Digitized by Google

Dans la figure 1 le moteur asynchrone A est relié par ses bagues aux trois bornes de son rhéostat habituel de démarrage avec cette différence que l'un des fils est interrompu en D, par exemple par un commutateur qui permet : soit d'établir la communication directe entre la bague et la borne E, soit en poussant la manette sur le plot K de faire passer le courant d'une batterie d'accumulateurs C de 2 ou 3 éléments, courant réglable par un rhéostat R.

Un ampèremètre M à courant continu est relié à un shunt S intercalé dans le trajet du conducteur se rendant de la bague au point D, axe du commutateur.

Les choses étant ainsi établies, mettons le commutateur dans la direction de DE, nous pouvons alors démarrer le moteur asynchrone dans les conditions habituelles en manœuvrant son rhéostat tripolaire de démarrage. Une fois les résistances supprimées dans le circuit du rotor, ce dernier glisse dans le champ et l'on voit l'aiguille de l'ampèremètre à courant continu M, osciller à droite et à gauche du o à une fréquence en rapport avec celle du glissement.

Manœuvrons alors le commutateur D de façon à introduire la batterie d'accumulateurs C, on voit aussitôt l'aiguille de l'ampèremètre se déplacer en deça du zéro et tout en oscillant se tenir constamment du même côté. En même temps on constate que les battements de l'aiguille deviennent plus lents. En augmentant l'intensité du courant en agisssant sur le rhéostat R, on voit finalement l'aiguille de l'ampèremètre cesser d'osciller et se fixer à une certaine valeur, le rotor tourne à ce moment à la vitesse du champ, le moteur est devenu synchrone. En même temps des ampèremètres mis sur les fils d'arrivée du courant au stator accusent une valeur plus faible de l'intensité. Si l'on vient à demander au moteur une certaine puissance mécanique, il se décroche et l'on voit les battements apparaître sur l'ampèremètre M indiquant la superposition au courant continu d'un courant

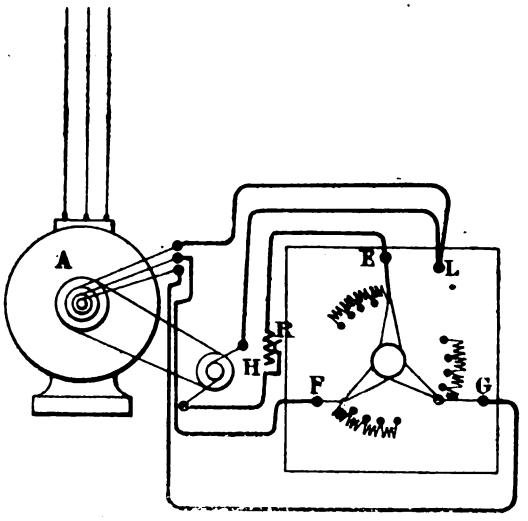


Fig. 2. — Montage d'atelier.

alternatif dont la fréquence est fonction du glissement. En supprimant la charge le moteur redevient synchrone. Du reste en augmentant l'excitation du rotor par la manœuvre du rhéostat R on rend le décrochage moins facile et l'on peut, si les à-coups ne sont pas trop violents et l'excitation convenable, marcher constamment en moteur synchrone.

Pratiquement on ne peut songer à employer des batteries d'accumulateurs qu'il faudrait ensuite recharger, aussi le procédé le plus simple (figure 2) consiste-t-il à mettre sur le rhéostat une borne supplémentaire L où l'on fera arriver le fil qui était relié normalement à la borne E. Entre E et L on intercalera une petite dynamo shunt H ou autre conduite par le moteur asynchrone. Cette machine n'a besoin d'être prévue que pour fournir 7 à 8 v puisqu'il n'est besoin que de vaincre des résistances ohmiques, seule son intensité sera proportionnée à la puissance du moteur asynchrone. Au démarrage le courant alternatif à fréquence décroissante traverse la petite machine que l'on peut shunter au besoin; puis, dès que le moteur a pris sa vitesse, elle s'excite et l'accrochage se produit. En cas de décrochage le courant alternatif de glissement traverse la dynamo mais sans inconvénient pour elle si elle a été prévue en conséquence.

Il reste à savoir si le coût de cette machine et celui de la consommation d'énergie qu'elle entraîne rachètent la dépense d'énergie réactive qu'elle permet de diminuer.

A. Soulier.

Comment on travaille l'aluminium.

Nous avons déjà donné dans les numéros des 4 et 19 avril quelques opérations du travail de l'aluminium; en voici quelques autres :

Décapage. — Le décapage de l'aluminium s'opère de la manière suivante :

On plonge l'objet dans un bain composé de: eau pure, 100 parties; soude caustique, 20 parties, où on le laisse un temps suffisant pour que le décapage soit complet, ce que l'on constate en retirant de temps en temps l'objet.

Laver ensuite à grande eau, puis plonger dans un bain composé de : eau pure, 100 parties; acide nitrique, 15 parties. Laver de nouveau à grande eau. Essuyer avec un linge ou avec de la sciure de bois. Laisser sécher.

Le décapage se fait plus vite quand les bains sont chauds; pour décaper, par exemple, de grandes quantités d'objets (fabrique d'ustensiles de ménage), il vaut mieux employer un bain de soude bouillant.

Moulage de l'aluminium. — Il faut prendre les précautions suivantes :

1° Tenir compte, dans la confection des moules, du retrait très prononcé du métal pendant le refroidissement; pour l'aluminium pur et les alliages jusqu'à 4 pour 100 de cuivre, il est de 1,66 pour 100;

2° Prévoir de nombreux évents pour faciliter le remplissage des moules;

3° Avoir de grosses masselottes pour nourrir les parties minces par l'effet de la pression du métal ainsi accumulé.

Il existe trois procédés de moulage.

1° *Moulage au sable*, employé surtout pour les pièces de grande surface;

2° *Moulage en coquille*, donne des pièces d'une texture remarquable;

3° *Moulage en coquille, sous pression*. Pour la fabrication en série, grande économie de temps et de main-d'œuvre.

Il faut éviter avec soin de chauffer le métal au-dessus de 800°, car l'aluminium s'oxyde et absorbe l'azote de l'air à partir de cette température.

Polissage de l'aluminium. — Décaper au préalable les objets comme il est dit précédemment et les polir au tour comme les autres métaux.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Importations et exportations françaises

Le présent article donne un résumé des importations et exportations françaises de matériel électrique : 1° pour l'année 1918, comparées avec celles des exercices 1916 et 1917 ; 2° pour le mois de janvier 1919, en relation avec le même mois des années 1917 et 1918.

Comme on a pu le constater par l'examen du tableau

FRANCE. — Matériel électrique.

CHIFFRES OFFICIELS DU COMMERCE SPÉCIAL POUR LES ANNÉES 1916, 1917 ET 1918

PAGES DES DOCUMENTS OFFICIELS		DÉSIGNATIONS	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES			VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS		
			1918	1917	1916	1918	1917	1916
86	IMPORTATIONS	I. Machines dynamo-électriques — pesant 1 000 kg et plus	30 366	26 826	32 406	15 183	13 413	14 583
		— 50 kg et moins de 1 000 kg	8 986	15 668	23 578	4 490	7 834	10 611
		— moins de 50 kg	902	1 128	1 477	722	902	1 182
		II. Appareils électriques et électrotechniques — avec enroulement de fil métal. isolé	5 901	9 959	6 583	16 818	28 383	15 141
		— sans enroulement	4 276	3 807	3 631	7 269	6 472	3 631
87		III. Bâtis et carcasses de dynamos et moteurs électriques	1 894	6 228	3 883	284	934	582
72		IV. Lampes électriques à incandescence — à filament de charbon, avec monture	44	144	112	110	360	146
		— à filament métallique, Id.	1 087	1 293	1 268	4 348	5 172	3 043
		— sans monture	11	18	1	55	90	3
87		V. Lampes à arc et pièces détachées en fer ou en acier	80	27	10	80	27	10
69		VI. Charbons préparés pour l'éclairage électrique	11 057	6 649	7 464	6 634	3 989	4 478
87		VII. Fils et câbles isolés pour l'électricité	22 889	52 006	14 088	27 467	62 407	16 906
		VIII. Induits de machines dynamo-électriques et pièces détachées pour appareils électriques	4 864	5 013	5 320	6 810	7 018	7 461
		IX. Aimants autres que les électro-aimants	18	11	73		6	22
90		X. Accumulateurs et pièces détachées	4 473	331	1 573	1 342	99	393
		XI. Piles sèches	468	754	2 133	187	302	853
71		XII. Pièces pour l'électricité en porcelaine, faïence, grès, isolateurs et autres	2 027	2 303	3 061	574	652	826
72		Pièces pour l'électricité en verre			3			1
			99 337	132 165	106 664	92 373	138 062	80 172
149	EXPORTATIONS	I. Machines dynamo-électriques et transformateurs	3 934	6 572	3 389	1 967	3 286	1 525
		II. Appareils électriques et électrotechniques	4 833	10 972	10 848	7 733	17 556	13 885
150		III. Bâtis et carcasses de dynamos et de moteurs électriques	81	324	15	12	49	2
134		IV. Lampes à incandescence	859	1 005	1 013	2 062	2 412	1 459
150		V. Lampes à arc et pièces détachées en fer et en acier	9	42	90	7	32	65
131		VI. Charbons préparés pour l'électricité et pour autres usages industriels	39 941	39 515	49 346	21 568	21 338	26 647
150		VII. Fils et câbles isolés pour l'électricité	1 687	3 391	6 720	380	763	1 512
		VIII. Induits de machines dynamo-électriques et pièces pour appareils électriques	893	3 684	2 755	1 125	4 642	3 472
		IX. Aimants autres que les électro-aimants	42	89	42	21	20	13
152		X. Accumulateurs électriques et pièces détachées	7 224	3 527	3 951	1 842	899	840
		XI. Piles sèches	400	1 025	339	128	328	108
133		XII. Pièces pour l'électricité en porcelaine, faïence, grès blanc ou de couleur, isolateurs et autres	4 285	4 905	3 288	848	972	622
134		Pièces pour l'électricité en verre	258	259	636	60	60	103
			64 446	75 260	82 532	37 753	52 357	50 253

Digitized by Google

ci-dessus, l'importation en France de matériel électrique a été inférieure en 1918 de plus de 32 000 quintaux à celle de 1917 et l'exportation a été inférieure en la même année de plus de 10 000 quintaux à celle de l'année précédente. On peut attribuer ces diminutions dans les deux sens aux restrictions ou prohibitions gouvernementales et aux nécessités de la défense nationale obligeant l'industrie française à se suffire à elle-même. Les importations en général ont néanmoins dépassé les exportations, en poids, de 34 891 quintaux et, en valeur, de 54 millions et demi de francs. Nos exportations n'ont dépassé les importations que pour les quelques articles suivants, nécessaires à nos alliés :

Charbons préparés : pour un poids de 30 000 quintaux environ et pour une valeur de près de 15 millions ;

Pièces en porcelaine, faïence, grès, isolateurs et autres : pour un poids de 2 218 quintaux et une valeur de 274 000 fr. Cet avantage est dû, en grande partie, aux progrès faits depuis la guerre par l'industrie française dans la fabrication de ces articles, surtout dans la région limousine ;

Accumulateurs et pièces détachées : pour un poids de 2 751 quintaux et une valeur de 5 000 fr.

Aimants autres que les électro-aimants : pour un poids de 24 quintaux.

FRANCE. — Matériel électrique.

CHIFFRES OFFICIELS DU COMMERCE SPÉCIAL POUR LE MOIS DE JANVIER DES ANNÉES 1917, 1918 ET 1919

PAGES DES DOCUMENTS OFFICIELS		DÉSIGNATIONS	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES			VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS		
			1919	1918	1917	1919	1918	1917
86	IMPORTATIONS	I. Machines dynamos électriques : pesant 1 000 kg et plus	2 000	1 306	4 313	1 000	653	2 158
		— 50 kg et moins de 1 000 kg.	525	499	1 554	263	249	711
		— moins de 50 kg	110	46	95	88	37	76
		II. Appareils électriques et électrotechniques : avec enroulement de fil métal isolé.	214	402	631	610	1 146	1 798
		sans enroulement	105	335	363	179	370	617
87		III. Bâtis et carcasses de dynamos et moteurs électriques.			629			94
72		IV. Lampes électriques à incandescence : à filament de charbon, avec montures	2	7	22	5	18	55
		à filament métallique, id.	155	126	189	620	504	756
		sans monture	1			5		
87		V. Lampes à arc et pièces détachées en fer ou en acier	1	1	8	1	1	8
69		VI. Charbons préparés pour l'éclairage électrique	87	149	81	52	89	49
87		VII. Fils et câbles isolés pour l'électricité	981	1 356	3 720	1 177	1 627	4 464
		VIII. Induits de machines dynamo-électriques et pièces détachées pour appareils électriques	120	507	636	168	710	890
		IX. Aimants autres que les électro-aimants						
90		X. Accumulateurs et pièces détachées	15	17	32	5	5	10
		XI. Piles sèches	23	18	262	9	7	105
71		XII. Pièces pour l'électricité en porcelaine, faïence, grès, isolateurs et autres	165	23	71	47	7	20
72		Pièces pour l'électricité en verre						
			4 504	4 792	12 606	4 229	5 423	11 811
149	EXPORTATIONS	I. Machines dynamo-électriques et transformateurs	445	240	551	223	120	276
		II. Appareils électriques et électrotechniques	626	339	242	1 062	542	387
150		III. Bâtis et carcasses de dynamos et de moteurs électriques.						
134		IV. Lampes à incandescence	155	64	26	372	154	62
150		V. Lampes à arc et pièces détachées en fer et en acier	1		2	1		2
131		VI. Charbons préparés pour l'électricité et pour autres usages industriels	3 413	1 706	5 045	1 843	921	2 724
150		VII. Fils et câbles isolés pour l'électricité	225	124	211	51	28	47
		VIII. Induits de machines dynamo-électriques et pièces pour appareils électriques	472	25	280	595	32	353
		IX. Aimants autres que les électro-aimants	3		1	2		1
152		X. Accumulateurs électriques et pièces détachées	844	480	15	215	122	3
		XI. Piles sèches	44	177	43	14	57	14
133		XII. Pièces pour l'électricité en porcelaine, faïence, grès blanc ou de couleur, isolateurs et autres	1 538	232	232	305	46	46
134		Pièces pour l'électricité en verre		66	5		15	1
			7 766	3 453	6 653	4 683	2 037	3 917

Digitized by Google

Si l'on parcourt ce document statistique, on peut facilement se convaincre que l'année 1919 s'est présentée pour le matériel électrique dans des conditions plus favorables que les années précédentes. En effet, on peut se rendre compte qu'en janvier 1919 nos exportations ont été supérieures aux importations d'un poids de 3 262 quintaux et d'une valeur de 500 000 fr. Ces mêmes exportations ont progressé de 4 313 quintaux et de 2 646 000 fr. sur celles de 1918.

Les exportations de janvier 1919 ont, pour les articles suivants, dépassé :

	Les importations de janvier 1919.		Les exportations de janvier 1918.	
Appareils électriques et électrotechniques...	300	quintaux	300	quintaux
Charbons préparés....	3 326	id.	1 707	id.
Induits de dynamos et pièces détachées....	300	id.	447	id.
Accumulateurs et pièces détachées.....	830	id.	364	id.
Isolateurs et pièces en porcelaine, grès, faïence.....	1 373	id.	1 306	id.

Mais, d'autre part, on peut constater que les importations étrangères de janvier 1919 ont continué à prévaloir sur les exportations françaises du même mois, pour les articles suivants :

Machines dynamo-électriques et transformateurs : dont il a été importé un poids de 2 626 quintaux, pour une valeur de 1 351 000 fr.

Fils et câbles isolés : pour un poids de 981 quintaux et une valeur de 1 177 000 fr.

Il est temps que les consortiums officiels et les dernières entraves douanières laissées encore par les autorités françaises à la complète reprise des affaires disparaissent complètement. Il est à souhaiter aussi que ceux de nos industriels qui étaient encore hésitants n'attendent plus la signature, quelque prochaine qu'elle soit, des préliminaires de paix ou celle de la paix définitive, pour donner libre cours à leur activité d'antan, à leur amélioration d'outillage, à leurs acquisitions de matières premières, aux services propres à la taylorisation de la main d'œuvre, à la participation de celle-ci aux bénéfices, à la fabrication intensive en série, etc.; toutes conditions économiques bien connues des intéressés, mais qu'il est utile de mentionner à nouveau. Car ce n'est qu'ainsi que l'industrie française sera à même de s'implanter beaucoup plus qu'avant la guerre dans des pays tels que l'Amérique latine, où, depuis le Mexique jusqu'à la Terre de Feu, l'excellent matériel électrique français, pas encore suffisamment connu surtout à la côte de l'Océan pacifique, trouverait des débouchés considérables. Mais nous devons nous hâter : nous n'en donnerons pour preuves que le redoublement actuel d'activité des industriels des Etats-Unis (sans parler de ceux d'Angleterre, de Suisse, d'Italie et du Japon), qui multiplient dans ces pays latino-américains l'envoi de prix courants en français, espagnol et portugais ainsi que de représentants très capables, appuyés par leurs consuls et leurs banques. Si nous ne faisions pas attention à ces importantes manifestations de la concurrence étrangère, nous risquerions de voir, dans un avenir peu éloigné, échapper les débouchés de ces marchés à l'expansion économique de la France.

Désiré Pector,
Conseiller honoraire du Commerce extérieur.

Revues, analyses et informations

Les richesses minérales du Massif breton

Nous analysons ci-dessous une conférence faite à Rennes le samedi 22 février 1918 par M. Fernand Kerforne, chargé de cours à la Faculté des Sciences de Rennes, sous les auspices de l'Association française pour l'avancement des Sciences.

M. Fernand Kerforne fit tout d'abord un bref exposé de ce que c'est qu'une mine, un minerai, de la façon dont on les emploie et dont on les exploite, nous n'insisterons pas sur cette première partie de la conférence, dont tous les points sont bien connus des lecteurs de la « R. G. E. ».

Le Massif breton. — Au point de vue géologique, le Massif breton comprend toute l'ancienne province de Bretagne, une partie de la Normandie, du Maine, de l'Anjou et de la Vendée. La limite orientale passe à l'est de Cherbourg, au sud de Bayeux et de Caen, à l'ouest d'Argentan, d'Alençon et du Mans, à l'est d'Angers, un peu au nord de Fontenay-le-Comte.

Il est formé de roches éruptives variées, disposées en massifs et en filons, de roches cristallophylliennes, de terrains sédimentaires anciens et fortement plissés; il est recoupé de cassures et de failles multiples. Sa composition géologique et sa structure sont celles des pays les plus renommés du monde pour leur richesse minière.

A l'époque gallo-romaine il y eut des exploitations minières dans le Massif breton, on en a extrait de l'or, de l'étain, du fer et peut être même du cuivre. Il existe encore de nombreuses traces de ces anciennes exploitations.

Au moyen-âge, l'exploitation des mines a été peu florissante en Bretagne; au XVe siècle des concessions ont été accordées à des Anglais et à des Allemands; à diverses reprises, les ducs de Bretagne ont fait exploiter certains gisements, par exemple ceux de plomb du Huelgoat et de Châtelaudren.

Au commencement du XVIIIe siècle, le Massif breton fut exploré par la baronne de Beausoleil dont le mari était commissaire et délégué de l'empereur d'Allemagne à l'administration des mines de Hongrie. Elle avait partagé les travaux de son mari et acquis des connaissances très étendues.

En 1630, elle vint en Bretagne accompagnée de cinquante mineurs allemands et de dix mineurs hongrois et elle com-

Digitized by Google

mença la prospection de la contrée ; elle fut bientôt en butte à toutes sortes de persécutions et aucune des promesses qui lui avaient été faites par le cardinal de Richelieu ne fut tenue. En 1640, à bout de ressources, elle adressa à Richelieu un mémoire intitulé : *La Restitution de Pluton* où elle donnait une longue liste des gisements qu'elle avait découverts et demandait l'autorisation de les exploiter. Comme résultat, elle fut enfermée à la Bastille et son mari à Vincennes où ils finirent leurs jours.

La liste de la baronne de Beausoleil a été conservée par Gobet, elle comprend l'énumération par évêchés et par paroisses de nombreux gisements d'or, d'argent, de plomb, de cuivre et de fer.

Presque tous les gisements qui ont été exploités depuis figurent sur cette liste, malheureusement beaucoup n'ont pas pu être retrouvés. Au XIXe siècle, l'activité industrielle prit un développement plus considérable, mais elle ne porta que sur quelques gisements : plomb argentifère, fer et combustibles minéraux.

Combustibles minéraux. — On rencontre surtout de l'anthracite et des houilles maigres ; il y a une quarantaine de concessions instituées dans le Maine-et-Loire, la Mayenne, la Sarthe, la Loire Inférieure et la Vendée.

Malheureusement ces combustibles sont inférieurs comme qualité et ne trouvèrent leur emploi que dans les fours à chaux. La production qui, en 1869, était 10 000 t en Maine-et Loire, de 108.121 t dans la Loire-Inférieure, de 126.985 t dans la Sarthe et la Mayenne, était devenue à peu près nulle avant la guerre. La rareté du charbon peut permettre d'envisager la reprise de l'exploitation.

Certains gisements, appartenant au carboniferien supérieur contiennent de la houille de meilleure qualité et des shistes bitumineux, ils sont assez mal connus. On les rencontre du côté de Carentan et dans les environs de Quimper et de la baie des Trépassés.

On trouve également en grande quantité, dans le Massif breton, de la tourbe qui n'a jamais été exploitée autrement que par des petits propriétaires pour leurs besoins personnels.

On rencontre des tourbières dans presque toute la Bretagne, mais des gisements très étendus se trouvent dans l'Ouest, dans les marais de la Grande-Brière, dans les marais du Mont Saint-Michel de Brasparts, dans la plaine de Carentan. Ces tourbières très importantes méritent d'être exploitées industriellement.

Minerais de fer. — Le Massif breton est aussi riche en minerais de fer que la Lorraine. Ces minerais ont été exploités activement à l'époque gallo-romaine, au moyen-âge et au XIXe siècle, mais, jusqu'à une date relativement récente, les exploitations n'avaient pas dépassé une vingtaine de mètres à cause des venues d'eau qu'on ne pouvait combattre avec les moyens dont on disposait, et de la nature du minerai (carbonate de fer) qu'on ne savait pas utiliser. En 1835, il y avait une cinquantaine de hauts fourneaux de petites dimensions en activité ; à la suite des traités de commerce admettant en franchise les fontes anglaises, tous furent éteints de 1865 à 1879.

Depuis cette époque, des exploitations en profondeur ont été reprises en Normandie et dans l'Anjou et quelques minières ont été rétablies.

Depuis quelques années, l'étude des minerais de l'Ouest a été reprise et a donné des résultats inespérés. La Normandie fut prospectée la première avec soin, mais presque partout par des sociétés allemandes et hollandaises. L'Anjou fut également étudié à fond ainsi que toute la région de Chateaubriant située entre l'Anjou et la Vilaine. Le mouvement fut étendu à une partie du Morbihan et dans les Côtes-du-Nord, sans la guerre il aurait atteint toute la Bretagne. En Anjou et en Bretagne ce ne furent que des Sociétés françaises et en particulier les grandes firmes métallurgiques de l'Est qui prirent la tête du mouvement.

Au moment de la déclaration de guerre, il y avait 63 demandes de concession en instance en Anjou et en Bretagne et 20 en Normandie.

Bassin normand. — Le bassin normand comprend un certain nombre de synclinaux isolés plus ou moins distants les uns des autres et dont quelques-uns s'enfoncent sous les formations secondaires du bassin de Paris. M. Nicou a estimé sa minéralisation à 120 millions de tonnes par 200 m de profondeur, chiffre qui est certainement au-dessous de la réalité. Le minerai est constitué par une couche régulière et continue de minerai de fer oolithique carbonaté d'une puissance de 2,50 m à 6 m, mais, dans ce dernier cas, il n'y a guère que 2,50 m à 3 m qui soient exploitables pour le moment ; la teneur du minerai une fois grillé est de 46 à 51 pour 100 de fer.

La partie supérieure de la couche est en général transformée en hématite jusqu'à une certaine profondeur. A Saint-Rémy cette transformation atteint le synclinal tout entier. L'hématite contient de 45 à 52 pour 100 de fer, 10 à 15 pour 100 de silice et 0,6 à 0,7 pour 100 de phosphore.

Vingt et une concessions sont instituées dont 14 dans le Calvados et 2 dans la Manche. La plus grande partie du minerai est dirigée sur le port de Caen où des hauts-fourneaux ont été installés depuis peu.

D'autres gisements ont été découverts et 20 nouvelles demandes de concession sont en instance. Dans le sud du bassin, on a trouvé plusieurs couches s'étageant dans l'ordovicien moyen.

Le minerai de la mine de Diélette près de Cherbourg appartient au devonien. Avant la guerre, cette mine était exploitée par l'allemand Thyessen. Les couches sont au nombre de 6, la principale a 7,50 m de puissance. Le minerai est un mélange de magnétite et d'oligiste qui contient 57 pour 100 de fer, 11,8 pour 100 de silice et 0,24 pour 100 de phosphore.

Bassin de Châteaubriant. — Ce bassin s'étend au sud de Rennes depuis la limite orientale du Massif breton, à peu près vers le méridien d'Angers, jusque un peu au delà de la de la Vilaine. Il comprend ainsi les gisements de l'Anjou et leur prolongement vers l'Ouest. L'évaluation de la richesse du bassin, en mettant toutes les choses au pire, donne un tonnage qui dépasse 600 millions de tonnes pour une profondeur de 200 m.

Le nombre de couches est de quatre dans l'est du bassin, il se réduit à deux dans l'ouest et même quelquefois à une. Ces couches se trouvent dans le grès armoricain, c'est-à-dire dans l'ordovicien inférieur. Dans cette région, le grès armoricain présente trois divisions précises et constantes : 1° Grès armoricain inférieur ; 2° schistes intermédiaires ; 3° grès armoricain supérieur. Le minerai se trouve uniquement dans le grès armoricain inférieur. La couche la plus élevée est à 5 ou 10 m au-dessous des schistes intermédiaires qui le surmontent. La deuxième couche est à 50 m environ au-dessous. A une centaine de mètres au-dessous, on rencontre encore une troisième couche intéressante et quelquefois une quatrième couche généralement siliceuse et inexploitable.

Le minerai est de la magnétite et de l'hématite avec quelques passages de carbonate. La magnétite domine vers l'Est

Digitized by Google

et l'hématite vers l'Ouest, dans certains endroits on rencontre les trois minerais. La puissance est de 3 à 6 m ; en général les bancs supérieurs sont les plus riches et quelquefois les seuls exploitables. La teneur varie généralement de 50 à 55 pour 100 de fer, 6 à 25 pour 100 de silice, 0,5 à 0,8 pour 100 de phosphore ; la qualité est donc meilleure que celle des minerais normands.

Depuis 1910 les études et les recherches dans la région qui s'étend de l'Anjou à la Vilaine ont pris un essor extraordinaire surtout sous l'impulsion des grandes firmes métallurgiques de l'Est, actuellement 58 concessions sont en instance. Ce bassin est d'autant plus intéressant qu'il est sillonné de nombreuses voies ferrées et placé à proximité des grands ports de Nantes et de Saint-Nazaire où de grands établissements métallurgiques pourront s'installer et décongestionner la région de l'Est trop près de la frontière.

Un autre avantage du bassin est qu'en dehors des minerais de profondeur il contient un grand nombre de gisements superficiels qui peuvent être exploités en minières ; leur rendement est de 250 000 à 300 000 t par an, ils se composent d'hématite brune en couche d'épaisseur de 4 à 6 m, leur teneur en fer est de 45 pour 100 et leur teneur en silice de 15 à 18 pour 100.

Dans le même bassin on a trouvé des minerais de fer exploitables à un autre niveau géologique, dans le gothlandien.

Autres régions du massif. — En dehors du bassin normand et du bassin de Châteaubriant, on trouve des minerais de fer dans tout le massif breton, à des niveaux géologiques différents : dans l'ordovicien supérieur, dans le gothlandien, dans le dévonien, dans le carbonifèrien ; on rencontre également des minerais tertiaires abondants dans certaines localités et qui pourront être exploités avantageusement en minières.

En résumé, au point de vue du fer, le massif breton est une des régions les plus favorisées d'Europe, tant par la qualité que par la quantité de ses minerais. Le charbon qu'il contient ne peut satisfaire aux exigences d'une activité sidérurgique très développée, mais les nombreux ports de la région permettront d'importer facilement le charbon anglais, de plus, dans le sol même, on trouvera toute la castine nécessaire.

La situation maritime particulièrement favorable du massif breton contribuera considérablement à son développement et facilitera l'exportation des fontes, aciers et produits manufacturés.

Minerais de plomb, zinc et argent. — Dans le Massif breton, les gisements de plomb et de zinc sont généralement associés et il n'y a pas de gisements d'argent distincts de ceux de plomb et de zinc. Ces minerais ont été exploités depuis très longtemps, les mines de Huelgoat, Poullaouen et Pontpéau ont été comptées parmi les plus importantes de France.

En 1890, Pontpean occupait 1 260 ouvriers et produisait : 7 757 000 kg de minerai de plomb, 1 134 000 kg de minerai de zinc et 2 629 000 kg de pyrite de fer.

A la fin du XIXe siècle les concessions étaient au nombre de 8 : Pontpéan (Ille-et-Vilaine) ; Huelgoat (Finistère) ; Poullaouen (Finistère) ; La Touche-en-Vieuxvy (Ille-et-Vilaine) ; Saint-Mandé, près Baud (Morbihan) ; Crossac (Loire-Inférieure) ; Surtainville (Manche) ; Trémuson (Côtes-du-Nord).

Au moment de la déclaration de guerre, l'exploitation était arrêtée un peu partout ou peu importante, mais on espérait une reprise de l'activité et de nouveaux gisements avaient été découverts à : Le Hinglé (Côtes-du-Nord), la Chapelle-Saint-Mélaine, Saint-Aubin-d'Aubigné, Saint-Aubin-du-Cormier (Ille-et-Vilaine), Granville (Manche), etc.

Après la guerre le mouvement reprendra et s'étendra, et de nouveaux gisements seront certainement découverts ; on peut dire, sans exagération, qu'il n'y a pas un canton de Bretagne qui ne contienne un gisement de plomb.

Minerais d'antimoine. — Ce n'est qu'à une époque récente que les minerais d'antimoine ont été découverts dans l'Ouest ; ils sont moins nombreux que les gisements de plomb argentifères, mais ils sont cependant abondants et présentent l'intérêt d'être souvent accompagnés de minerais aurifères.

Les gisements connus se trouvent à : Le Genest (Mayenne), Saint-Hilaire-des-Landes (Mayenne), Martigné-Ferchaud (Ille-et-Vilaine), Combourtillé (Ille-et-Vilaine), Belle-Isle-en-Mer (Morbihan), Kerdévot (Finistère), Rochetréjoux (Vendée), etc. Tous ces gisements sont filoniens ; on a encore trouvé de la stibine dans les calcaires anciens et dans les grès à Erbray (Loire-Inférieure), à Bois-Roux (Ille-et-Vilaine), etc.

Minerais de cuivre. — Les gisements de cuivre sont relativement peu abondants ; ils ont d'ailleurs été peu étudiés.

On ne peut pas s'attendre à trouver d'importants gisements comparables à ceux d'Espagne, mais il se pourrait qu'on en découvre d'intéressants.

En dehors des gisements de cuivre spéciaux, on rencontre du cuivre dans quelques gisements de plomb, à Trénuison et Carnoët par exemple.

A Montbelleux, le cuivre accompagne le wolfram, il est abondant à Villeray. On en rencontre aussi à Saint-Aubin-d'Aubigné et dans le Morbihan.

Minerais d'étain et de wolfram. — Ces minerais se trouvent toujours dans le voisinage du granite à mica blanc (granulite), on peut donc les rechercher d'une façon méthodique et précise. L'étude n'en a pas été encore faite en Bretagne, cependant on connait déjà quelques gisements qui ont été exploités.

Les gisements d'étain actuellement connus en Bretagne sont situés à : Montbelleux (Ille-et-Vilaine) où il accompagne le wolfram ; la Villeder (Morbihan) ; Abbaretz et Nozay (Loire-Inférieure) ; Tréhiguier, près de l'embouchure de la Vilaine ; Questembert (Morbihan), etc.

De l'étain alluvionnaire se rencontre à Penestin, Piriac, dans la vallée des Haies entre Sérent et Malestroit. Avec l'étain alluvionnaire, on trouve une petite quantité d'or natif.

Le wolfram est exploité à Montbelleux près de Fougères. Il y a certainement d'autres gisements en Bretagne, on en a trouvé près de Morlaix, de Dinan et de Nantes.

Minerais de molybdène. — La molybdénite accompagne le wolfram à Montbelleux, on en rencontre près de Nantes, et avec les minerais d'étain à la Villeder. Ces gisements ne paraissent pas exploitables, mais il y en a d'autres.

Minerais de bismuth. — La présence de minerais de bismuth a été signalée à Montbelloux où ils accompagnent le wolfram, la molybdénite et les minerais de cuivre.

Minerais de manganèse. — Le manganèse a été exploité autrefois à Groroi dans la Mayenne, on en rencontre aux environs de Laval, à Saint-Thurial (Ille-et-Vilaine) et dans un certain nombre d'autres localités.

Digitized by Google

Minerais de nickel et de cobalt. — Ces minerais existent en Bretagne mais ne semblent pas présenter d'intérêt industriel.

Minerais de titane. — Les oxydes de titane, bien qu'abondants dans certaines régions, ne paraissent pas susceptibles d'exploitation. Il n'en est pas de même des fers titanés qui ne sont pas rares dans la Loire-Inférieure.

Minerais de mercure. — Le mercure existe à l'état de cinabre dans le Cotentin, au Menildot, près de la Chapelle-en-Juger. D'après Duhamel il y aurait, dans cette région, plus de vingt filons méritant d'être sondés.

Minerais d'or. — L'or libre a été rencontré à la Villeder, dans les sables stannifères voisins des gisements d'étain filoniens, en particulier dans les vallées des Haies, à Panestin, à Piriac, dans les alluvions de la Vilaine à Redon et à Saint-Perreux, dans certains filons de quartz du Morbihan. Il a été exploité par les anciens dans les parties superficielles du filon de Saint-Pierre-Montlimart, et, à l'époque actuelle aux mines de la Lucette.

Dans les recherches de Beslè (Loire-Inférieure) on en a trouvé dans le quartz du filon, soit dans les argiles des salbandes.

L'or combiné existe également, associé à la pyrite et surtout au mispickel, principalement dans les gisements d'antimoine et d'étain.

Il a été exploité ou recherché sous cette forme à la Lucette, à Saint-Pierre-Montlimart, à Martigné-Ferchaud, à Beslé et dans quelques autres endroits. En dehors de ces gisements, de nombreux filons du massif ont donné aux affleurements des teneurs variant de 4 à 10 gr la tonne; à la Chapelle-Saint-Melaine, il y a des associations d'antimonio-sulfures comme dans le Plateau Central.

Platine. — La présence de paillettes de platine a été signalée dans les sables aurifères et stannifères de Penestin.

Minerais radifères. — Jusqu'ici aucune recherche n'a été faite, mais la question mérite d'être étudiée.

Conclusions. — L'exposé qui précède montre les richesses que renferme le Massif breton. Avant la guerre, tout annonçait un essor minier remarquable et maintenant il faut, dans l'intérêt de la patrie toute entière, mettre la région en valeur aussi complètement que possible. Nous ne paierons les frais de la guerre qu'avec les produits de notre industrie et les matières extraites de notre sol. Il faut que nous ne nous livrions plus au malthusianisme industriel qui n'a été que trop pratiqué en France. Il faudra produire et produire beaucoup.

En dehors des produits miniers cités plus hauts, la Bretagne est riche en granits, grès, sables, ardoises, argiles, kaolins, calcaires, etc., qui n'attendent que l'industrialisation générale de leur exploitation.

Nous terminons cette analyse par les paroles mêmes de M. Kerforme :

« La Bretagne a donné généreusement son sang pour la défense de la Grande Patrie et si glorieusement que les Allemands on dit pour justifier un échec : nous avions des régiments bretons devant nous !

« La Bretagne donnera aussi généreusement les richesses de son sous-sol pour panser les blessures économiques de la guerre et vaincre encore les Allemands sur ce nouveau terrain. »

H. C.

Assemblées générales

Société Avignonnaise d'Electricité.

Assemblée générale ordinaire du 24 avril 1919.

Les recettes de lumière ont augmenté et celles de force motrice ont subi une diminution. La cause en est le manque de matières premières pendant une grande partie de l'année qui a causé l'arrêt de certaines industries et, par contre, a amené de nouveaux clients de lumière forcés d'abandonner les autres modes d'éclairage. Dans l'ensemble les recettes marquent une légère progression, elles sont passées de 315 886 fr à 321 820,90 fr.

Les dépenses ayant également augmenté atteignent 203 229,20 fr, laissant un bénéfice de 118 591,70 fr.

L'exploitation a été assurée dans des conditions difficiles au cours de cette année. La fin de la guerre permet de reprendre le projet d'installation à la sous-station de la Place Principale d'une batterie d'accumulateurs grâce à laquelle la Société pourra assurer l'alimentation irréprochable de sa clientèle.

Le solde disponible avec le compte intérêts et divers s'élève à 141 516,19 fr sur lesquels il faut déduire les intérêts et l'amortissement des obligations 30 080 fr, soit un produit de 111 436,19 fr.

Il est prélevé 40 000 fr pour provision d'amortissements. Il reste à répartir 71 436,19 fr plus le report de 1917, 2 780,21 fr.

Il est versé 5 pour 100 à la réserve légale : un premier dividende de 5 pour 100 aux 8 000 actions ; 10 pour 100 du surplus au Conseil et un deuxième dividende de 3 pour 100. Le report à nouveau est de 3 858,42 fr.

Le dividende de 8 fr (sous déduction des impôts) par action a été mis en paiement à partir du 30 avril 1919, contre remise du coupon n° 12.

Bilan au 31 décembre 1918.

Actif.

	fr
Frais de constitution	1 »
Mobilier et outillage général	1 »
Apports	120 000 »
Frais de premier établissement	69 000 »
Dépenses d'installations	1 222 318,13
Approvisionnements	39 490,63
Materiel en location	61 450,85
Portefeuille	105 101 »
A reporter	1 617 372,61

Digitized by Google

Report.....	1 617 372,61
Caisses, Banques et Bons de la Défense nationale.	170 778,50
Débiteurs divers.....	59 178,05
Frais d'émission et prime sur obligations.....	51 713,60
Compte divers et d'ordre.....	2 693,48
	1 901 735,79

Passif.

	fr
Capital : 8 000 actions de 100 francs.....	800 000 »
Obligations : 390 obligations (1re série).....	195 000 »
id. 436 obligations (2e série.....	218 000 »
Réserve légale.....	23 611,50
Réserve par amortissements d'obligations....	73 776 »
Provision pour amortissements.....	390 000 »
Créditeurs divers.....	197 489,87
Profits et pertes.....	3 858,42
	1 901 735,79

Société des Forces motrices de la Vis.

Assemblée générale ordinaire du 13 mai 1919.

Le Sud-Electrique a continué à assurer l'exploitation de l'usine de la Société et des lignes de transport de force dans des conditions normales.

Les résultats de l'exercice sont fonction de ceux obtenus par le Sud-Electrique (pour le compte rendu, voir le numéro de la *R. G. E.* du 25 janvier 1919, t. V, p. 153).

Le bénéfice de cette Société s'est élevé pour l'exercice 1917-1918, à 887 178 08 fr. et un dividende de 6 pour 100 a été réparti aux actions de priorité et aux actions ordinaires.

Sur ce bénéfice, la Société des Forces de la Vis a encaissé en plus du remboursement de toutes ses charges une somme de 111 000 francs représentant la troisième partie du loyer et qui constitue le solde créditeur du compte de profits et pertes dont le total s'élève à 128 821 72 fr.

Sur ce solde il est prélevé 100 000 fr. pour le fonds des amortissements et 550 fr. pour la réserve légale.

Le report à nouveau est de 28 271 72 fr.

Bilan au 31 décembre 1918.

Actif.

		fr
Frais de constitution et d'augmentation du capital.....	63 418 80	
A déduire : amortissements.....	63 417 80	1 »
Apports.....		750 000 »
Terrains et immeubles.....		409 096,27
Dépenses générales de premier établissement... (usine, sous stations, réseaux, etc).....		4 751 171,93
Espèces en banques.....		3 624,45
Débiteurs divers.....		355 586,80
Prime de remboursement des obligations.....		309 150 »
		6 668 630,45

Passif.

	fr
Capital.	
6 600 actions de priorité de 250 fr.....	1 650 000 »
2 400 — ordinaires de 250 fr.....	600 000 »
Obligations.	
802 obligations 5 pour 100 en circulation.....	401 000 »
7 181 obligations 4 2 pour 100 en circulation.	3 590 500 »
Réserve légale.....	5 631,85
Fonds pour amortissements.....	342 650 »
Coupons obligations à payer et obligations à rembourser.....	45 522,23
Créanciers divers.....	5 054,65
Report à nouveau.....	28 271,72
	6 668 630 45

Société Nimoise de l'Electricité.

Assemblée générale ordinaire du 13 mai 1919.

La progression des ventes a continué, pendant l'exercice 1918, il y a eu des demandes continues de courant pour l'éclairage et la petite force motrice. L'augmentation du nombre des clients d'éclairage a été de 537 et des clients de force motrice de 11.

Les recettes en 1918 ont été de 850 226, 45 fr en augmentation de 50 410, 05 fr. Les dépenses de 432 765, 55 fr en diminution de 2 726, 92 fr.

Le bénéfice d'exploitation a atteint 417 460, 90 fr et le bénéfice net 226 542, 27 fr, en diminution de 11 575, 71 fr sur celui de 1917.

Sur ce solde bénéficiaire il est prélevé 5 pour 100 pour la réserve légale : 5 pour 100 au capital-actions versé : soit 50 000 fr aux 2 000 actions anciennes, et 25 000 fr aux 2 000 actions nouvelles libérées de moitié. Il reste 140 215, 15 fr sur lesquels il revient 10 pour 100 au travail.

Le report de l'année dernière 9 606, 82 fr ajouté au reste donne 135 800, 47 fr répartis ainsi : 34 930 fr pour réserve d'amortissement ; un dividende supplémentaire de 25 fr par titre soit 100 000 fr.

Le report à nouveau est de 870, 47 fr.

Le dividende mis en paiement à partir du 15 mai 1919 est donc de 47,50 fr pour les actions nominatives anciennes, 44,50 fr pour les actions au porteur anciennes et 35,625 fr pour les actions nouvelles.

Bilan au 31 décembre 1918.

Actif.

	fr
Actionnaires.....	500 000 »
Frais de 1er établissement.....	1 »
Frais d'émission des obligations.	1 »
Prime d'amortissement des obligations.....	35 190 »
Usine et Sous-stations : Terrains, immeubles et matériel.....	992 006,94
Réseaux : Postes, transformateurs, canalisations primaires et secondaires.....	1 343 115,05
Mobilier.....	1 »
Outillage.....	1 »
Compteurs.....	313 956,65
Installations Grand-Théâtre et chez les abonnés.	1 »
Marchandises en magasin.....	41 377,65
Abonnés et débiteurs divers.....	119 365,20
Effets à recevoir.....	1 879,50
Caisse, banques et bons de la Défense Nationale.	336 559,79
Portefeuille.....	337 901,50
Cautionnements.....	250 »
Impôts de finances.....	7 039 »
Opération de change à terme garantie.....	500 000 »
	4 447 946,28

Passif.

	fr
Capital.....	2 000 000 »
Obligations 500 francs 4 1/2 o/o 2e série.....	Mémoire
Obligations 500 francs 4 1/2 o/o 2e série.....	754 500 »
Obligations 500 francs 4 1/2 o/o 3e série.....	418 500 »
Réserve légale.....	123 233,01
Réserve générale pour amortissements.....	115 000 »
Créanciers et fournisseurs.....	325 340,30
Coupons obligations et obligations à rembourser.	35,502,50
Opération de change à terme garantie.....	500 000 »
Dividende exercice 1918 coupon actions N° 15	
Actions anciennes.....	100 000 »
Actions nouvelles.....	75 000 »
Report à nouveau.....	870,47
	4 447 946,28

Digitized by Google

Compagnie des Tramways électriques de Limoges.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 28 AVRIL 1919.

L'exploitation a fonctionné normalement pendant l'année écoulée et les recettes ont atteint le chiffre exceptionnel de 900 102, 50 fr. La cause de cette augmentation est due à l'afflux considérable des étrangers, tant militaires que réfugiés civils, qui, en 1918, ont augmenté la population flottante dans de grandes proportions. Il faut s'attendre à voir les recettes revenir à des proportions moindres à mesure que la population se rapprochera de sa situation d'avant-guerre.

La remise en état du matériel fixe et roulant va demander un effort important par suite de l'élévation du prix des matières.

Les salaires ont été relevés une seconde fois au cours de l'année, mais, en faisant droit aux demandes du personnel, la Compagnie a introduit en même temps une demande tendant à augmenter de nouveau les tarifs.

Cette demande, acceptée par la Ville, est en instance devant l'autorité supérieure.

Les pourparlers avec la municipalité en vue de la désaffectation de l'usine génératrice sont en bonne voie.

Les recettes d'exploitation s'élèvent à 900 102, 50 fr et les dépenses à 762 848, 67 fr, soit un bénéfice de 137 253, 83 fr en diminution de 31 105, 58 fr sur celui de 1917. Le report de l'exercice précédent 5 130, 87 fr ajouté, il reste un solde disponible de 142 384 fr.

Ce solde se répartit ainsi : 1 950 fr à l'amortissement de 1/20 sur les frais de constitution ; 6 862, 69 fr à la réserve légale ; un dividende de 4 pour 100 aux actions soit 96 000 fr, 35 000 fr à la réserve d'amortissement.

Le report à nouveau est de 2 572, 01 fr.

Le dividende est fixé à 20 fr par action, sous déduction des impôts.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1918.

Actif.

	fr
Premier établissement :	
Réseau primitif	2 135 973,44
Extension, travaux neufs	936 878,54
Frais de constitution	39 000,33
Atelier d'Aixe	20 245,41
Etudes pour la ligne de Limoges au Palais	2 480,40
Mobilier de Paris	561 »
Cautionnements	11 625,90
Magasins d'approvisionnements	77 745,56
Espèces en Caisse et en Banques	577 977,59
Débiteurs divers	28 875,91
	3 831 364,10

Passif.

	fr.
Capital	2 400 000 »
Réserve statutaire	168 284,89
Réserve facultative	360 000 »
Réserve pour travaux de renouvellement	393 337,73
Amortissement sur frais de constitution	35 210,70
Créditeurs divers	252 825,94
Coupons restant à payer	79 320,14
Profits et pertes :	
Report du solde précédent	5 130,87
Bénéfices de l'exercice	137 253,83
	3 831 364,10

Société des Forces motrices de la Haute-Durance.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 2 MAI 1919.

L'exploitation des installations de la Société par l'Energie électrique du Littoral méditerranéen, a été satisfaisante. La production de l'usine de Ventavon s'est élevée à 125 081 000 kw-h en 1918, contre 138 037 400 kw-h en 1917 ; la différence provient de la diminution sensible du débit hydraulique en particulier pendant les trois premiers mois de l'année. Le 6e groupe de 8 000 ch, dont il avait été question dans le dernier rapport, a été mis en service dans le courant du mois de décembre et concourt depuis à l'alimentation du réseau de l'Energie électrique du Littoral méditerranéen.

Le produit de la location des installations à l'Energie électrique du Littoral méditerranéen s'est élevé à 1 650 405 fr, en y ajoutant le report de l'exercice précédent 30 637, 82 fr on obtient 1 681 042, 82 fr, desquels il faut retrancher 22 795, 49 fr de frais généraux ; 136 322, 01 fr d'impôts et redevances ; 17 986, 08 fr d'abonnement au timbre ; 140 998, 53 fr d'intérêts divers et 999 225 fr, soit un total de 1 317 327, 11 fr.

Il reste un solde créditeur de 363 715,71 fr, sur lequel il est attribué 217 615, 06 fr aux comptes amortissements et 100 000 fr aux provisions diverses.

Le report à nouveau est de 46 100,65 fr.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1918.

Actif.

	fr
Frais de constitution	1 »
Mobilier et agencement	1
Apports	900 000 »
Terrains et immeubles	1 316 947,18
Travaux d'installation de la chute de Ventavon et des lignes de transport de force	22 694 851,78
Frais d'actes hypothécaires et de délégation aux obligataires	175 101,54
Rachat des annuités à la Compagnie Electrique du Midi	2 200 000 »
Société civile des obligataires	844 036,62
Somme versée à ses banquiers pour le paiement des coupons et obligations à rembourser.	
Comptes courants	134 064,46
	28 265 003,58

Passif.

	fr
Capital	5 500 000 »
Obligations : 39 727 obligations 5 pour 100	17 479 880 »
Provisions diverses	250 000 »
Créditeurs divers	4 272 554,57
Coupons à payer et obligations à rembourser :	
Coupons échus et obligations à rembourser.	143 239,03
Coupons échéant et obligations à rembourser le 1er janvier 1919	573 229,33
Profits et pertes	46 100,65
	28 265 003,58

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF : Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 24. — 14 JUIN 1919.

Chronique. — Règles françaises et règles britanniques d'unification du matériel électrique. — Société française des Électriciens. — Bibliographie : Théorie des enroulements des machines à courant continu, par G. SZARVADY, p. 841-842.

Section scientifique et technique. — Méthode d'analyse expérimentale des propriétés des alternateurs *(suite et fin)*, par A. BLONDEL et F. CARBENAY, p 843. — Revues, analyses et informations : Sur la mesure en valeur absolue des périodes des oscillations électriques de haute fréquence, p. 855; Nouvelles observations relatives à la production des spectres métalliques par luminescence cathodique, p. 856.

Section industrielle. — L'émission thermo-électrique et ses applications : Le Kénotron, par G. JOHANNÈS, p. 857. — Revues, analyses et informations : Utilisation de courants triphasés pour la production du courant monophasé, p. 864; Branchement des gros moteurs à courant continu sans résistances de démarrage, p. 869.

Section économique et financière. — Revues, analyses et informations : Le développement des distributions d'énergie électrique en Allemagne, p. 871. — Assemblées générales : Compagnie générale parisienne de Tramways, p. 871; Compagnie générale d'Electrochimie de Bozel, p. 872.

Règles françaises et règles britanniques d'unification du matériel électrique. — Bien souvent nos lecteurs nous ont demandé de leur procurer les textes des réglements concernant le matériel électrique appliqués en France ou à l'étranger. Nous croyons donc devoir les informer que quelques-uns de ces réglements viennent d'être publiés et mis en dépôt dans nos bureaux, où ils pourront dorénavant se les procurer.

Les « Règles françaises d'unification du matériel électrique » actuellement adoptées par le Comité électrotechnique français forment deux fascicules, qui sont vendus 3,50 fr l'un.

Le premier comprend trois réglements concernant respectivement :

Les conditions techniques de la distribution et de la transmission de l'énergie électrique ;

Les isolateurs pour canalisations aériennes ;

Les câbles armés isolés au papier imprégné.

Le second se rapporte exclusivement aux machines électriques, ce terme s'appliquant aux génératrices et moteurs à courant continu, aux alternateurs et moteurs synchrones, aux moteurs asynchrones, aux transformateurs de courant alternatif, aux commutatrices de courant alternatif en courant continu.

C'est également à ces machines que se rapportent les « Règles britanniques d'unification pour les machines électriques », adoptées par la British Engineering Standards Association. Le fascicule qui les renferme est mis en vente au prix de 1,25 fr; au verso des pages se trouve le texte anglais ; en regard est donnée la traduction française, laquelle a été revisée par M. R. V. Picou, ancien président du Comité électrotechnique français et par M. Ch. David, secrétaire de ce Comité.

Il convient d'observer que dans ces réglements, tant les français que les anglais, le matériel de traction est excepté, ce matériel devant être, en raison de sa spécialisation, l'objet de réglements particuliers qui seront publiés ultérieurement.

Voici, sans entrer dans le détail des nombreux sujets qui sont envisagés dans ces réglements, les points principaux qui y sont traités.

Les *Conditions techniques de la distribution et de la transmission de l'énergie électrique* fixent les valeurs qu'il est « infiniment désirable » d'adopter dans les nouvelles entreprises pour les tensions de distributions inférieures à 1 000 v, pour les tensions de distribution et de transport égales ou supérieures à 1 000 v, pour la fréquence et pour le nombre de phases.

Les *Règles concernant les isolateurs pour canalisations aériennes* renferment : un court rapport de la commission chargée de leur élaboration, les conditions techniques de fabrication et d'essais des isolateurs de ligne fabriqués en porcelaine ou en verre, les profils types des isolateurs.

Les *Règles concernant les câbles armés isolés au papier imprégné* indiquent : les renseignements à fournir pour l'offre ou la demande d'un câble armé, la composition des câbles, les essais en usines et après pose auxquels ils doivent être soumis, les valeurs maxima des courants qui peuvent les traverser, la série normale des tensions sous lesquelles ils doivent fonctionner.

Les *Règles françaises concernant le matériel électrique* renferment : dans une première partie, des définitions des mots employés (régime normal, service, rendement, variation de tension, etc.), des renseignements utiles pour l'offre et la demande de machines électriques, les

Digitized by Google

indications que doivent porter les machines (plaque signalétique, marques des bornes, diagrammes) ; dans la seconde partie, les conditions auxquelles doit satisfaire une machine électrique au point de vue de la température maximum atteinte et de l'échauffement, de la rigidité diélectrique, de la commutation, du fonctionnement mécanique, du rendement.

Les Règles anglaises d'unification pour les machines électriques traitent des mêmes sujets.

Société française des Electriciens : Séance du 4 juin 1919. — Deux intéressantes communications furent présentées à cette séance, l'une de M. Gratzmuller : « Sur certains modes d'emploi du collecteur en courant polyphasé » ; l'autre de M. Montoriol ayant pour titre : « Les systèmes actuels en télégraphie rapide ».

M. Gratzmuller a étudié l'emploi du collecteur dans les machines à courant polyphasé pour obtenir les deux buts suivants :

1° L'auto-excitation et éventuellement le compoundage dans la marche en alternateur moteur ou générateur, synchrone ou asynchrone ;

2° L'auto-excitation totale ou partielle et la vitesse variable à un glissement près dans la marche en moteur.

La base de toute l'étude de M. Gratzmuller réside dans la notion de couple électrodynamique moteur ou résistant,

Le conférencier donna ensuite quelques principes fondamentaux du dimensionnement du collecteur en courant alternatif et étudia un premier dispositif d'avanceur de phase. L'auteur rappelle qu'il a donné en 1908, à la Société des Electriciens, le principe de l'avanceur de phase, mais qu'il ne l'avait pas fait breveter trouvant qu'il découlait immédiatement des travaux de MM. Blondel, Maurice Leblanc et Görges et signala les essais qu'il avait faits à ce sujet tant à la Thomson qu'à la Westinghouse,

M. Gratzmuller étudia ensuite la condition fondamentale de la production électrodynamique d'un couple dans une machine à enroulements statoriques et rotoriques avec réluctance uniformément répartie circulairement. De cette étude on tira la conclusion suivante : On peut fournir toute la puissance déwattée par le rotor d'un moteur asynchrone à la fréquence du glissement ; le conférencier examine comment ceci peut être réalisé pratiquement.

M. Gratzmuller passa ensuite à l'examen d'un second dispositif d'avanceur de phase dont il est l'inventeur et tint à montrer combien les remarquables travaux de M. Blondel l'avaient aidé dans la réalisation de cet appareil qui permet, quand la vitesse synchrone est réalisée, d'obtenir un facteur de puissance égal à l'unité et indépendant de la charge ; il indiqua aussi comment il faisait varier la vitesse en introduisant une différence de potentiel wattée convenable entre les bagues du moteur asynchrone, il rappela, à ce propos, les travaux antérieurs de MM. Blondel et Roth.

Enfin M Gratzmuller termina en exposant un système de réglage par double jeu de balais à distance angulaire variable dont il est l'auteur ; il obtient par cet artifice un rapport de transformation variable en grandeur phase et fréquence et le réglage de la vitesse et du facteur de puissance.

Il fit remarquer pour finir que, malgré tout, le grand succès des courants alternatifs est dû à l'absence du collecteur dans les moteurs asynchrones. Toutes les machines étudiées par M. Gratzmuller sont réversibles et peuvent fonctionner en génératrices asynchrones.

La seconde communication fut faite par M. Montoriol qui passa en revue les systèmes actuels de télégraphie rapide. Ces appareils peuvent se classer en appareils automatiques et appareils multiples. Les premiers enregistrent les transmissions de chaque opérateur et les retransmettent les uns à la suite des autres, les seconds permettent de transmettre plusieurs communications simultanément Parmi les appareils automatiques, M. Montoriol a étudié le Wheatstone, le Creed, le Marrey, le Pollak Virag et le Siemens, et parmi les multiples, le Baudot, le Delany, le Rowland, le Murrey, le Western Union et le Western Electric.

Bibliographie : Théorie des enroulements des machines à courant continu ; par G. Szarvady, Chargé du Cours d'Electricité industrielle à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures (1). — Dans ce volume l'auteur fait une théorie complète des enroulements des machines à courant continu en la déduisant de la formule bien connue d'Arnold $y = \frac{N \pm d}{p}$ qui, simple identité, est la clef de tous les enroulements fermés sur eux-mêmes ; elle a permis à Arnold de créer les enroulements série-parallèles. Dans son ouvrage, M. G. Szarvady montre, chose qui avait échappé à Arnold, que cette formule permet aussi de prédéterminer : les emplacements des balais sur le collecteur ; le nombre, la répartition et les numéros d'ordre des sections en court-circuit, sans qu'il soit nécessaire de recourir aux tableaux et schémas usuels qui sont d'une confection si laborieuse et d'un emploi si incommode, dès que le nombre des lames du collecteur dépasse celui des plus petites machines. Pour représenter les emplacements des balais et les sections en court-circuit, l'auteur indique des diagrammes extrêmement simples possédant la propriété d'être indépendants du nombre des éléments de l'enroulement, de sorte que le même tracé s'adapte à toutes les machines ayant même nombre de pôles et même nombre de circuits, quel que soit le nombre de lames au collecteur.

L'auteur établit la formule générale et en déduit les conséquences en raisonnant sur l'enroulement en anneau, mais ce qui est vrai pour l'anneau est applicable aux tambours et aux disques dont M. Szarvady étudie d'ailleurs les particularités.

Dans les chapitres I à V, l'auteur donne une théorie élémentaire dont l'application nécessite, dans chaque cas particulier, un tableau spécial pour les balais et un diagramme spécial pour les éléments en court-circuit. Les chapitres VI et VII font connaître une théorie générale permettant de dresser des tableaux et de tracer des diagrammes indépendants du nombre des lames du collecteur et du pas d'enroulement. Le chapitre VIII est consacré aux enroulements multiples, le chapitre IX aux enroulements à pas réduit et le chapitre X aux enroulements des tambours et des disques. Le chapitre XI résume les résultats obtenus et contient leur application à une machine à 36 pôles ayant près de 3 000 lames au collecteur.

Les idées exposées par M. G. Szarvady constituent un perfectionnement très important et une simplification considérable des méthodes d'Arnold, aussi le livre de M. Szarvady devra-t-il trouver la place qu'il mérite dans la bibliothèque de tous les ingénieurs constructeurs-électriciens.

(1) Un volume, 25 cm × 16 cm, 138 pages, 40 figures, édité par H. Dunod et E. Pinat, 47 et 49 quai des Grands-Augustins, Paris Prix : 9 fr.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Méthode d'analyse expérimentale des propriétés des alternateurs *(Suite et fin)*

Dans cette seconde partie, les auteurs donnent un exemple d'application à un alternateur, des méthodes d'analyse dont ils ont fait l'exposé dans un premier article. A cette occasion, ils comparent les résultats obtenus par l'emploi des différents diagrammes et peuvent ainsi déterminer celui dont les résultats concordent le mieux avec l'expérience.

II. — Application aux essais d'un alternateur triphasé (1).

I. — Eléments caractéristiques de l'alternateur. — L'alternateur expérimenté présente les données suivantes :

Puissance : 150 ch;
Fréquence : 50 p : sec;
Vitesse angulaire : 500 t : min;
Stator triphasé en étoile;
1 encoche par pôle et par phase;
6 paires de pôles;
$k = 1$ (2);
9 spires par bobine;
6 bobines par phase;
Nombre de spires inductrices par pôles : 261;
Epaisseur minimum de l'entrefer : $e = 8$ mm;
Noyau polaire : section : 9 cm $\times$ 43 cm $= 387$ cm^2;
longueur : 20 cm;
Pièce polaire : section : 12,5 cm $\times$ 43 cm $= 540$ cm^2;
longueur : 3,7 cm;
Culasse : section : 2 (5 cm $\times$ 45 cm) $= 460$ cm^2;
longueur : 8 cm.

II. — Détermination des courbes caractéristiques. — Les résultats des mesures sont donnés dans les tableaux suivants (voir fig. 1) :

Caractéristique à vide (ascendante).

Excitation.		Vitesse. n	Force électromotrice par bobine.	
lectures	ampères	t : min	lectures (volts)	ramenées à 500 t : min
29,5	8,85	460	33	36
33,5	10	458	38	41,5
38	11,4	460	44	48
44	13,2	id.	52	56,6
48	14,4	id.	57	62

(1) Nous exprimons tous nos remerciements à la maison Harlé qui a mis gracieusement à notre disposition son laboratoire et sa plate-forme d'essais pour ces applications exécutées avec le concours de M. Touly en 1914-15.

(2) Pour k différent de 1, on devrait remplacer Φ_e par $k\Phi_e$.

Caractéristique à vide (ascendante). (Suite.)

Excitation.		Vitesse. n	Force électromotrice par bobine.	
lectures	ampères	t : min	lectures (volts)	ramenées à 500 : min
51	15,3	460	60	65
53,5	16,1	id.	63	68,5
58,5	17,5	id.	60,2	75,3
64,4	19,3	462	75,5	82
68,5	20,5	460	80	87
72	21,6	462	84	91
76,5	23	460	88	95,5
81	24,3	id.	92	100
85,5	25,6	id.	95	103,5
92,5	27,7	458	99	107,5
98	29,5	464	101	109
104	31,2	460	104,5	114

Caractéristique à vide (descendante).

104	31,2	460	104,5	114
87,5	26,2	462	97	105
73	21,9	465	86,5	93
58	17,4	464	72	77,5
43	12,9	465	56	60
38	11,4	id.	50	54
32	9,6	467	43	46
18,5	5,55	463	28	30

Caractéristique de l'inducteur seul.
(D'après le dessin de la machine et la courbe $\mathfrak{B} = f(H)$.

Φ (megamaxwells)		Noyau.	Pièces polaires.	Culasse.	Joint.	AT totaux
3	$B =$	7 740	5 550	6 000	7 500	252
	AT/cm $=$	6,4	5,2	5,6		
	$AT =$	128	19	45	60	
4	$B =$	10 320	7 400	8 800	10 000	325
	AT/cm $=$	8,5	6,25	6,8		
	$AT =$	168	23	54	80	
5	$B =$	12 900	9 250	10 000	12 000	450
	AT/cm $=$	12,8	7,2	8		
	$AT =$	260	27	64	100	
6	$B =$	15 400	11 100	12 000	15 000	820
	AT/cm $=$	19,4	9,2	10,4		
	$AT =$	388	34	83	120	

Digitized by Google

Détermination des autres caractéristiques partielles. — A l'aide de la bobine d'épreuve, on a constaté que les fuites de denture sont négligeables; nous pouvons donc, dans ce qui suivra, considérer la caractéristique globale des ampères-tours pour l'armature et l'entrefer ensemble, ce qui est une simplification importante. Connaissant la caractéristique totale d'excitation à vide, la caractéristique de l'inducteur seul, il est facile d'en déduire la caractéristique de l'armature plus l'entrefer, pourvu qu'on connaisse pour diverses va-

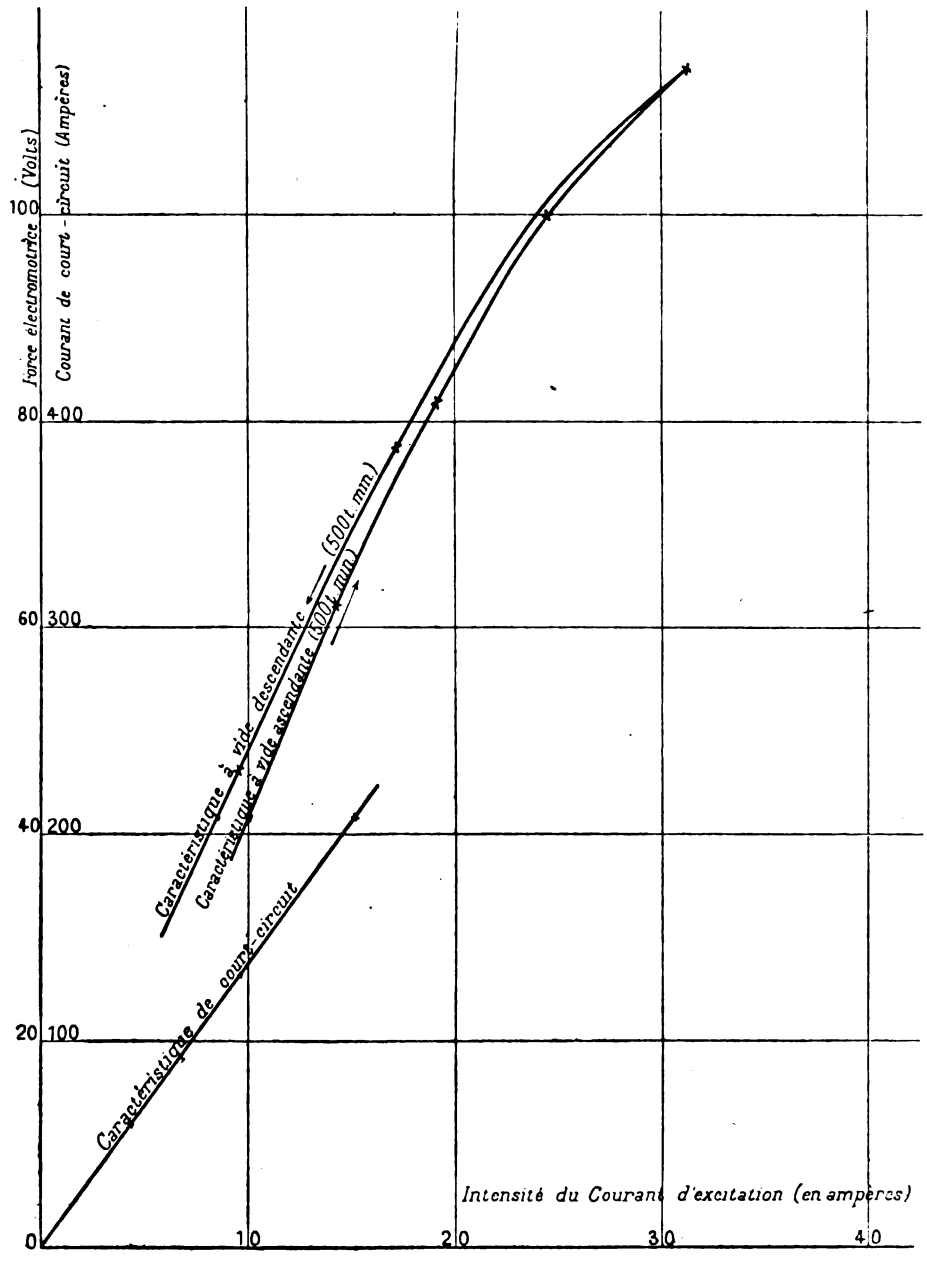


Fig. 1. — Caractéristiques à vide et en court-circuit de l'alternateur triphasé expérimenté.

leurs de l'excitation le rapport $\frac{\Phi_a}{\Phi_i}$ égal à $\frac{\Phi_e}{\Phi_i}$ dans notre cas.

On en a relevé les valeurs à l'aide de bobines d'épreuve placées respectivement dans l'entrefer et autour des noyaux polaires. On a ainsi trouvé, avec le balistique, pour $i = 21{,}15$ A, par exemple

$$\frac{\Phi_a}{\Phi_i} = \frac{\Phi_e}{\Phi_i} = \frac{165}{198}.$$

III. — **Détermination du coefficient** $A = K\frac{N}{2}\sqrt{\ }$ de

Digitized by Google

réaction directe. — On mesurait $e_{\Phi a}$ directement avec une bobine d'épreuve dans les encoches. Cette bobine avait le même nombre de spires que l'une quelconque du stator.

Par phase, la force électromotrice est donc 6 $e_{\Phi a}$,

		Par bobine.	
$i' = 4{,}95$ A	$I = 0$	$e_{\Phi_a} = 18{,}5$ v	$n = 462$ t:min
$i'' = 6{,}75$ A	$I_1 = 26{,}5$ A	$e_{\Phi_a} = 18{,}5$ v	

$$\frac{A}{n} = \frac{i'' - i'}{I_1 - I_0} = \frac{6{,}75 - 4{,}95}{26{,}5} = 0{,}068,$$

$$A = 0{,}068 \times 261 = 17{,}8.$$

En régime normal :

$$I = 90 \text{ A} \quad \text{pour } \cos\varphi = 0{,}7, \quad i = 30 \text{ A}$$

$$\frac{AI}{ni} = 0{,}068 \times \frac{90}{30} = 0{,}204.$$

Caractéristique de court-circuit à 460 t:min (fig. 1).

Courant d'excitation i.		Courant de court-circuit (I_{cc})	
1,4	ampères	19	ampères
1,9	id.	26	id.
3,22	id.	42,5	id.
4,35	id.	60	id.
5,10	id.	69	id.
6,9	id.	94	id.
9,1	id.	125	id.
9,6	id.	132	id.

On en déduit à la manière de Rothert le coefficient de réaction directe :

$$\frac{A_{\text{Rothert}}}{n} = \frac{9{,}6}{132} = 0{,}073 \text{ (au lieu de } 0{,}068).$$

Enfin le circuit magnétique n'étant pas saturé, on trouve, d'après Behn-Eschenburg, comme impédance de l'induit :

Pour

$$i = 15{,}3 \text{ A} \quad E = 65 \text{ v} \quad n = 500 \text{ t:min}$$
$$i = 15{,}3 \text{ A} \quad I_{cc} = 207 \text{ A} \quad \text{id.}$$

Par bobine :

$$Z = \frac{65}{207} = 0{,}314,$$

$$Z^2 = R^2 + (L\omega)^2 = 0{,}0985,$$

$$R^2 = \left(\frac{0{,}07^2}{6}\right) = 0{,}000\,136 \text{ (négligeable devant } Z^2).$$

Par phase :

$$L\omega = 0{,}314 \times 6.$$

Par phase :

$$L_{\text{Behn}} = \frac{0{,}314 \times 6}{2\pi 50} = \frac{314.6.10^{-3}}{314} = 6.10^{-3} \text{ henrys.}$$

IV. — **Détermination du coefficient L_t de self-induction transversale.** — Méthode statique. — Le rotor est calé dans la position de fonctionnement statique watté. On enroule suivant le contour d'une bobine du stator, appartenant à la phase OA, une bobine d'épreuve de N spires (fig. 2) :

$$(N = 4)$$

ce qui permet de mesurer au balistique (GB) le flux dans la phase OA.

On lance du courant continu I dans cette phase, le courant I se divise en deux parties $\frac{I}{2}$ dans chaque phase

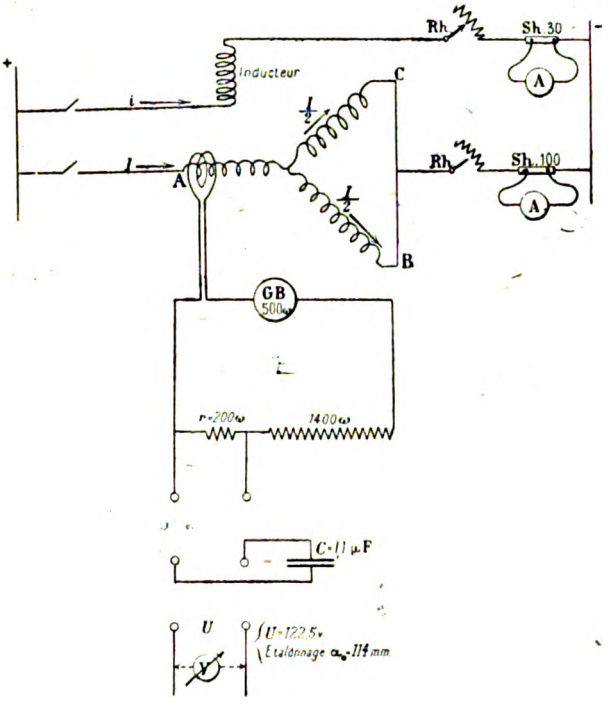


Fig. 2. — Schéma du montage employé pour la détermination du coefficient de self-induction transversale (et directe avec bobine d'épreuve.

OB et OC (les bornes B et C sont court-circuitées). On envoie également le courant d'excitation i dans l'inducteur.

On peut ainsi mettre la machine dans l'état magnétique de pleine charge ($i = 30$ A, $I = 90$ A). A chacun de ces états de saturation correspond une certaine valeur de L_t. Nous avons constaté que L_t est sensiblement constant, ce qui est dû au grand entrefer et à ce que l'on ne dépasse pas le coude des caractéristiques.

(Les courants I et i doivent être coupés simultanément.)

Pour $i = 30$ A, $I = 43$ A, la déviation est $\alpha = 44$ mm.

Digitized by Google

Soit Φ le flux dans une spire de la phase O' A.

$$\Phi = \frac{CUr}{N}\frac{\alpha}{\alpha_0},$$

$$\Phi = \frac{1,1.10^6.122,5.200}{4}.\frac{44}{114}\,10^8,$$

$$= 0,26\ 10^6 \text{ maxwells.}$$

Tel est le maximum du flux traversant une spire de l'induit quand le courant maximum est 43 A.

Pour un courant alternatif d'intensité efficace 90 A,

$$\Phi_{max} = 0,26\ 10^6.\frac{90\sqrt{2}}{43},$$

La force électromotrice transversale correspondante serait donc, pour une bobine :

$$e_{eff} = 9\omega \times 0,26\ 10^6\,\frac{90}{43}\,10^{-8},$$

$$\omega = 314, \qquad e_{eff} = 15,4 \text{ v.}$$

Par phase :

$$15,4.6 = 92,4 \text{ v.}$$

Par phase :

$$L_l = \frac{92,4}{\omega I} = \frac{92,4}{314 \times 90} = 3,27\ 10^{-3} \text{ henrys.}$$

IV. — **Détermination du coefficient l_{f3} de self-induction de dispersion de l'induit.** — Méthode statique. — Chaque bobine du stator ayant 9 spires, on construit sur les parties extérieures de l'une d'elles, une bobine d'épreuve de 18 spires (fig. 3). Le flux qui traversera celle-ci sera précisément le flux total de dispersion de la bobine considérée, résultant du passage du courant I dans la phase O A, les autres phases dont les extrémités sont court-circuitées sont traversées par $\frac{I}{2}$ (fonctionnement statique).

$$18\,\frac{\Phi_{f3}}{2} = CUr\,\frac{\alpha}{\alpha_0} = 1,1.10^{-6}\,57.400.\frac{\alpha}{107}\,10^8.$$

$$e_{\Phi f3\ \text{eff.}} = 18\,\frac{\Phi_{f3}}{2}\,\omega\,\frac{10^{-8}}{\sqrt{2}}.$$

Pour $I = 92$ A, $\alpha = 19$,

$$e_{\Phi f3} = 1,1.10^3.57.400.\frac{19}{107}.\frac{314\ 10^{-8}}{\sqrt{2}} = 1 \text{ v.}$$

Telle est, par bobine, la force électromotrice efficace de dispersion de l'induit pour une vitesse de 500 t : m et pour un courant alternatif d'intensité efficace $\frac{92}{\sqrt{2}}$.

Self-induction de dispersion, pour une phase.

$$l_{f3} = \frac{6\,e_{\Phi f3}}{314 \times 92}\sqrt{2} = \frac{6\sqrt{2}}{314 \times 92} = 0,29\ 10^{-3} \text{ henry.}$$

V. — **Détermination du flux inducteur dérivé, Φ_c, dans les parties de l'enroulement induit extérieur au fer (flux complémentaire).** — Méthode statique. — On utilise la bobine d'épreuve déjà montée sur les parois extérieures d'une bobine de l'induit, pour la mesure du coefficient de self-induction de dispersion l_{f3} (§ IV) ; mais ici, on produit des variations du flux inducteur. Soit Φ_c le flux complémentaire dans une spire de la bobine d'épreuve, il faudra multiplier par le facteur 9×2 pour exprimer le flux complémentaire total dans une bobine de l'induit ; c'est précisément ce que mesure directement la bobine d'épreuve qui a 18 spires, comme on l'a dit plus haut.

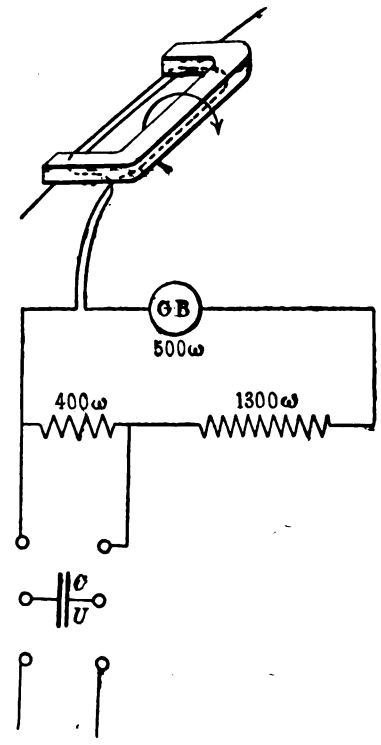


Fig. 3. — Schéma du montage employé pour déterminer le coefficient de self-induction de dispersion de l'induit.

$$18\,\Phi_c = CUr\,\frac{\alpha}{\alpha_0} = 1,1.10^{-6}.57.400\,\frac{\alpha}{107}\,10^8$$

i	α	$18\,\Phi_c$	$e_c = 18\Phi_c\,\frac{290}{\sqrt{2}}\,10^{-6}$ par bobine pour $n = 460$
ampères	millim.	maxwells	volts
9	31	0,725.10⁶	1,49
18.6	60	1,41	2,90
24.6	71,5	1,68	3,45

Méthode dynamique. — Il suffit d'intercaler un voltmètre thermique dans le circuit de la bobine et de faire

Digitized by Google

tourner l'alternateur. On mesure ainsi directement la force électromotrice complémentaire e_c. Toutefois la résistance de la bobine d'épreuve étant de 4,5 ohms par suite non négligeable devant celle du voltmètre thermique (14,4 ohms pour la sensibilité 5 v). Il y a lieu de faire une correction des lectures du voltmètre en multipliant ses indications par le rapport

$$\frac{14,4 + 4,5}{14,4} = 1,32.$$

Courant d'excitation. i (ampères)	Lectures au thermique. (volts)	Valeur corrigée. e (volts)	Vitesse. n t : min
9,6	1,15	1,52	467
12,9	1,48	1,96	465
17,4	1,9	2,58	464
19,3	2	2,64	462
20,5	2,1	2,77	460
21,6	2,16	2,85	462
23	2,25	2,97	460
24,3	2,33	3,06	id.
25,6	2,41	3,18	id.
27,7	2,50	3,30	id.
29,5	2,55	3,36	464
31,2	2,64	3,48	460

D'après ce tableau, il correspondrait à

$$i = 24,6, \quad e_c = 3,06 + \frac{0,12 \times 3}{13} = 3,09.$$

La méthode statique donnait 3,45

Soit une erreur de 10 pour 100 résultant de ce que les flux ne sont pas bien sinusoïdaux.

VI. — **Mesure de la résistance d'une phase du stator.** — 1° RÉSISTANCE r PUREMENT OHMIQUE.

A froid..... $r = 0,065$ ohms
A chaud..... $r = 0,075$ ohms environ.

2° RÉSISTANCE OHMIQUE APPARENTE r' EN CHARGE. — Nous avons rappelé que pour tenir compte de l'effet des courants d'induction on considère la résistance apparente r' qui s'obtient en relevant une portion de la caractéristique en charge à excitation constante :

$$f(U, I) = 0,$$

Sur un circuit extérieur non inductif, on a :

$$-\left(\frac{dU}{dI}\right)_{I=0} = r'.$$

Dans notre cas, nous relevons, à vitesse normale :

$i = 29,4$ A $\quad I = 0 \quad U = 108$ v,
$\quad\quad\quad I = 11$ A $\quad U = 107$ v.

Par phase :

$$r' = -\left(\frac{\Delta U}{\Delta I}\right)_{I=0} = \frac{1}{11} = 0,09 \text{ ohms}.$$

Par bobine de l'induit :

$$\frac{0,09}{6} = 0,015 \text{ ohms}.$$

VII. — **Comparaison des chutes de tension mesurées avec les chutes de tension calculées.** — Nous avons comparé l'exactitude des résultats que peuvent donner pour l'alternateur considéré les diagrammes de Blondel, de Behn-Eschenburg et de Rothert-Potier.

1° FONCTIONNEMENT DE L'ALTERNATEUR EN RÉGIME PUREMENT WATTÉ. — On relève simultanément :

n t : min	U par bobine volts	I ampères	i ampères
407	101,8	66	$100,7 \times \frac{30}{100} = 30,2$

Diagramme Blondel. — Calcul des vitesses du diagramme (par bobine).

$$\Phi_U = \frac{U\sqrt{2}}{N\omega} = U\frac{\sqrt{2}}{9.2\pi 47} = 0,0532\ 10^6\ U.$$
$$= 101,8 \times 0,0532\ 10^6 = 5,42\ 10^6,$$
$$\Phi_{RI} = (RI)\ 0,0532\ 10^6 = \frac{r'}{6}.66.0,0532\ 10^6$$
$$= 0,09 \times 11 \times 0,0532.10^6 = 0,053\ 10^6,$$
$$\Phi_{\omega l_3 I} = (\omega l_3 I)0,0532\ 10^6 = 2\pi 47\left(\frac{0,25}{6}10^{-3}\right)66.0,0532\ 10^6$$
$$= 0,0435\ 10^6.$$
$$\Phi_{\omega L_1 I} = (\omega L_1 I)0,0532\ 10^6 = 2\pi 47\left(\frac{3,27\ 10^3}{6}\right)66.0,0532\ 10^6$$
$$= 0,57\ 10^6,$$
$$AI = 0,068.261.66 = 1\ 170 \text{ AT}.$$

Le diagramme donne comme contre-ampères-tours directs :

$$AI \sin \psi = 130 \text{ AT}.$$

On trouve :

AT pour l'armature et l'entrefer.....	6 300
CAT directs.....	130
AT pour l'inducteur.....	7 830
	7 830

Ce qui correspond à un courant d'excitation de :

$$i = \frac{7\ 830}{261} = 30 \text{ A au lieu de } 30,2.$$

Soit une erreur de 0,7 pour 100.

Digitized by Google

Cet essai ne peut servir de critérium de la méthode pour les raisons suivantes :

1° Réaction de l'induit trop faible;

2° Circuit magnétique non saturé;

3° Courbe de force électromotrice trop éloignée de la forme sinusoïdale (1 encoche par pôle et par phase).

Diagramme Behn-Eschenburg. — On détermine l'hypoténuse du triangle rectangle dont les côtés sont :

$$\overline{AB} = \Phi_U + \Phi_{RI} = 5{,}473\ 10^6,$$

et, en désignant par L_{Behn} la self-induction de l'induit déterminée par la méthode de Behn-Eschenburg (§ III)

$$\Phi_{\omega L_{Behn} I} = 1{,}04\ 10^6.$$

$$\Phi_E = \sqrt{\overline{5.47}^2 + \overline{1{,}04}^2} = 5{,}6\ 10^6.$$

Cette hypoténuse est le flux correspondant à la force électromotrice E qui, d'après Behn-Eschenburg détermine l'excitation totale :

D'où :

$$i_{Behn} = 30{,}6 \text{ A, au lieu de } 30{,}2 \text{ A,}$$

soit une erreur par excès de 1,4 pour 100.

Diagramme de Rothert-Potier. — Les AT correspondant (sur caractéristique à vide) à

$$\Phi_U + \Phi_{RI} = 5{,}473\ 10^6$$

sont 7 600;

Les AT de réaction, d'après essai en court-circuit, pour $I = 66$ A, sont 1 250.

La résultante géométrique est l'excitation Rothert

$$ni = 7\ 720 \text{ AT,}$$

$$i_{Rothert} = 29{,}5 \text{ A au lieu de } 30{,}2 \text{ A,}$$

soit une erreur par défaut de 2,35 pour 100.

2° FONCTIONNEMENT DE L'ALTERNATEUR EN RÉGIME WATTÉ SOUS TENSION RÉDUITE. — Dans ce nouvel essai nous avons réduit la tension au $\frac{1}{6}$ de la valeur normale et augmenté considérablement le courant débité, de sorte que, pour φ sensiblement nul, nous avons :

$$\psi = 50°;$$

par suite des contre-ampères-tours directs ($AI \sin \psi$) notables.

n t : min	U, volts	I ampères	i ampères
448	106	140	$35{,}8 \frac{30}{100} = 10{,}75$

et par bobine $\frac{106}{6} = 17{,}7$ v

Diagramme Blondel. — Calcul des vecteurs (par bobine).

$$\Phi_U = \frac{U\sqrt{2}}{N_1\omega} 10^8 = U \frac{\sqrt{2}}{9.2\pi.44{,}8} = 17{,}7 \frac{\sqrt{2}.10^8}{18.2\pi.44{,}8}$$
$$= 0{,}99\ 10^6 \text{ maxwells,}$$

$$\Phi_{RI} = \frac{RI\sqrt{2}}{N_1\omega} 10^8 = 0{,}1\ 10^6 \text{ maxwells,}$$

$$\Phi_{f3} = (\omega l_{f3} I) \frac{\sqrt{2}}{N_1\omega} 10^8 = 0{,}092\ 17^6 \text{ maxwells,}$$

$$\Phi_{(\omega L_t I)} = (\omega L_t I) \frac{\sqrt{2}}{N_1\omega} 10^8 = \frac{L_t I}{N_1} \sqrt{2}\ 10^8 =$$
$$= \frac{3{,}27\ 10^{-3}}{6} \frac{140}{9} \sqrt{2}\ 10^8 = 1{,}2\ 10^6 \text{ maxwells.}$$

On avait sensiblement $\cos \varphi = 1$.

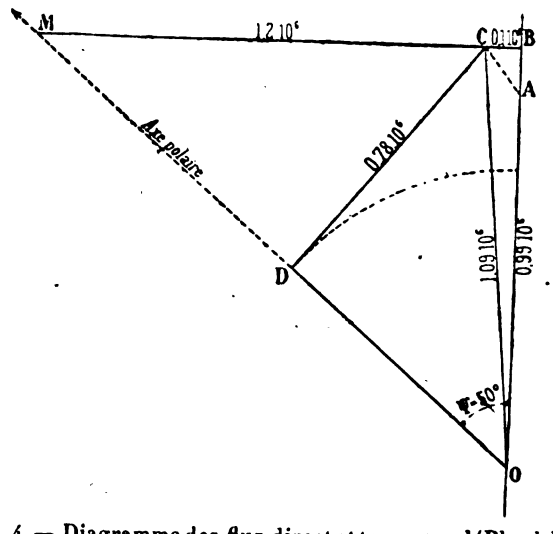


Fig. 4. — Diagramme des flux direct et transversal (Blondel).

Portons (fig. 4)

$$\overline{OA} = \Phi_U, \quad \overline{AB} = \Phi_{RI}, \quad \overline{BC} = \Phi_{\omega l_{f3} I}, \quad \overline{CM} = \Phi_{\omega L_t I}.$$

Le flux résultant dans l'armature :

$$\Phi_R = \sqrt{(\overline{OA} + \overline{AB})^2 + (\overline{BC})^2}$$
$$= \sqrt{(0{,}99 + 0{,}1)^2 + (0.092)^2}\ 10^6 \text{ maxwells,}$$
$$\simeq 1{,}09\ 10^6 \text{ maxwells.}$$

La direction OM de l'axe polaire détermine l'angle de décalage intérieur ψ :

$$\psi = 50°.$$

Abaissons de C une perpendiculaire CD sur l'axe polaire, on en déduit :

1° le flux transversal

$$CD = 0{,}78\ 10^6 \text{ maxwells,}$$

Digitized by Google

2° le flux direct

$$OD = 0{,}775\ 10^6 \text{ maxwells.}$$

Le flux direct exige pour passer dans l'armature et l'entrefer

850 AT

plus les C. A. T. directs

$$AI \sin \psi = 1\,900 \text{ AT,}$$

soit au total :

2 750 AT.

Nous trouvons comme flux direct dans l'inducteur, sur le graphique des caractéristiques partielles :

$$\Phi_f = 1{,}25\ 10^6 \text{ maxwells,}$$

qui exige pour traverser l'inducteur :

100 AT.

Donc les AT totaux d'excitation, pour le régime considéré sont :

$$2\,750 \text{ AT} + 100 \text{ AT} = 2\,850 \text{ AT.}$$

Ce qui correspond à un courant d'excitation :

$$i = \frac{2\,850}{261} = 10{,}9 \text{ A.}$$

On a relevé expérimentalement 10,75
Erreur de 1,5 pour 100 par excès.

Diagramme Behn-Eschenburg. — Comme précédemment :

$$\Phi_U = 0{,}99\ 10^6 \text{ maxwells,}$$
$$\Phi_{RI} = 0{,}1\ \ 10^6 \quad \text{id.}$$

La self Behn-Eschenburg a été déterminée par l'essai en court-circuit (§ III) :

Par phase $L_{Behn} = 6\ 10^{-3}$ henry,

Par bobine $L_{Behn} = \frac{6}{6}\ 10^{-3}$ henry $= 1\ 10^{-3}$ henry.

D'où :

$$\omega LI = 2\pi 44{,}8\ 10^{-3}\ 140,,$$

$$\Phi_{\omega LI} = (\omega LI)\frac{\sqrt{2}}{N_1 \omega}\ 10^8,$$

$$= LI\frac{\sqrt{2}}{N_1}\ 10^8 = 10^{-3}\ 140\ \frac{\sqrt{2}}{9}\ 10^8,$$

$$= 2{,}2\ 10^6 \text{ maxwells.}$$

D'après Behn, l'excitation totale correspond à la force électromotrice résultante E telle que :

$$\Phi_t = \sqrt{(0{,}99 + 0{,}1)^2 + (2{,}2)^2}\ 10^6 = 2{,}46\ 10^6.$$

D'où l'excitation Behn-Eschenburg : 3 000 AT, soit

$$I_{Behn} = \frac{3\,000}{261} = 11{,}5 \text{ A,}$$

au lieu de 10,75 A
(Erreur de 7,5 pour 100 par excès).

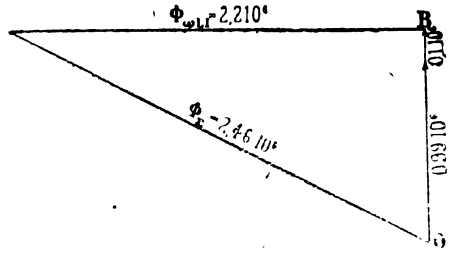


Fig. 5. — Diagramme Behn-Eschenburg.

Diagramme Rothert-Potier. — Les AT correspondant sur la caractéristique à vide à :

$$\Phi_U + \Phi_{RI} = 1{,}09\ 10^6 \text{ maxwells,}$$

sont égaux à 1 320 AT
Ils se composent avec les AT de réaction qui sont d'après l'essai en court-circuit :

2 650 AT.

L'excitation Rothert serait donc ;

$$\sqrt{1\,320^2 + 2\,650^2} = 2\,950 \text{ AT,}$$

soit 11,1 A (erreur de 3,5 pour 100 par excès)

VIII. **Détermination de la self-induction globale de fuites.** — Nous avons complété les essais précédents par la recherche de la self-induction globale et cela nous permettra une intéressante vérification des chiffres obtenus pour les fuites partielles.

Considérons un état de régime en fonctionnement déwatté.

AI étant les contre ampères-tours de l'induit ;

NI étant les AT d'excitation.

Supposons que I et i varient respectivement de ΔI et Δi à flux constant dans l'entrefer

$$\Delta \Phi_e = 0.$$

Il en résultera des $\Delta\Phi_{f2}$ et $\Delta\Phi_{f3}$ donnés par :

$$\Delta \Phi_{f2} = \frac{\Delta AI}{R_a + R_{f2}} = \frac{\Delta AI}{R_{f2}} \frac{1}{\left(1 + \frac{R_a}{R_{f2}}\right)} = \frac{1}{c_2} \frac{\Delta AI}{R_{f2}},$$

$$\Delta \Phi_{f3} = \frac{\Delta AI}{R_{f3}}.$$

Une bobine d'épreuve placée dans les encoches, suivant les mêmes contours que ceux d'une bobine d'induit

Digitized by Google

donnera la somme

$$\Delta\Phi_u = \Delta\Phi_{f2} + \Delta\Phi_{f3},$$

$$= \Delta A I \left(\frac{1}{\rho_2}\ \frac{1}{R_{f2}} + \frac{1}{R_{f3}}\right),$$

d'où

$$\frac{1}{R_3} = \left(\frac{1}{\rho_2}\ \frac{1}{R_{f2}} + \frac{1}{R_{f3}}\right) = \frac{\Delta\Phi_u}{A\,\Delta I}.$$

Comme nous nous proposons d'opérer dynamiquement, nous mesurons les forces électromotrices correspondantes aux flux considérés

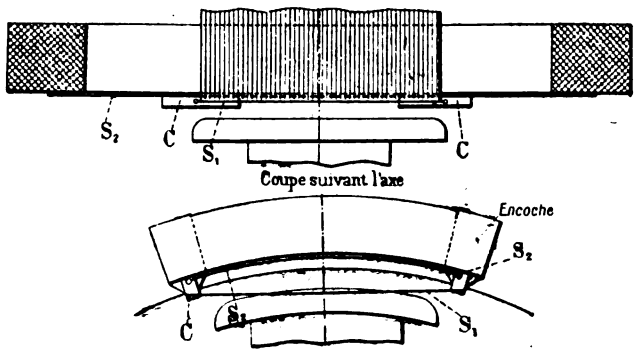


Fig. 6 — Disposition des bobines d'épreuve pour la détermination du coefficient de self-induction globale de fuites.

a) bobine S_2 indiquant $e_{\Phi u}$.

Les encoches de l'alternateur ne possédant pas de languette en bois, il nous a donc été très facile de placer notre bobine d'épreuve maintenue sur les spires de l'induit par quelques bandes de ruban isolant.

b) bobine S_1 placée dans l'entrefer, maintenue par de petites pièces en bois comme l'indique la figure 6.

Comme circuit dewatté, nous nous sommes servis d'un transformateur statique T de 400 kw, $\frac{10\,000\ v}{7\,000\ v}$ (fig. 7), triphasé.

A : alternateur à étudier,

T : transformateur de 400 kw dont 3 sur 6 bobines par phase sont utilisées.

A_1 : ampèremètre sur circuit de l'induit.

V_1 : voltmètre thermique de 25 v.

V_2 : voltmètre thermique de 150 v branché sur bobine de l'induit.

C_1 : commutateur à deux directions.

C_2 : inverseur tripolaire.

Tableau des valeurs relevées pendant l'essai.

Vitesse de l'alternateur. t:min	Excitation. ampères	I ampères	Différence de potentiel par bobine induite. volts	$e_{\Phi u}$ volts	$e_{\Phi e}$ volts
500	29,85	5,25	108	11,05	10,75
505	30,21	12,70	107,5	11	10,75

Pour $e_{\Phi e}$ = constante (1) :

Nous en déduisons (1 spire par bobine d'épreuve)

$$\Delta\Phi_u = \frac{\Delta e_{\Phi u}}{\omega} = \frac{11{,}05 - 11}{314} = 1{,}59\ 10^{-4}\ \text{unité pratique},$$

$$\Delta I = 12{,}70 - 5{,}25 = 7{,}45\ \text{amp}.$$

Nous pouvons écrire :

$$z = \frac{\Delta e_{\Phi u}}{\Delta I},$$

Si $\Delta e_{\Phi u}$ est mesuré par bobine, z est l'indépendance de chaque bobine

$$\Delta e_{\Phi u} = 0{,}05 \text{ par spire},$$
$$= 0{,}05 \times 9 = 0{,}45 \text{ par bobine (9 spires)},$$

d'où :

$$z = \frac{0{,}45}{7{,}45} = 0{,}0604\ \text{ohm}.$$

On a trouvé (§ VI) comme résistance d'une phase de l'alternateur 0,065 ohms soit par bobine :

$$\frac{0{,}065}{6} = 0{,}0108\ \text{ohm}.$$

$$l^2\omega^2 = z^2 - r^2,$$

$$l\omega = \sqrt{0{,}0604^2 - 0{,}0108^2} = 0{,}0594,$$

d'où, par bobine :

$$l = \frac{0{,}0594}{314} = 0{,}189\ 10^{-3}\ \text{henry},$$

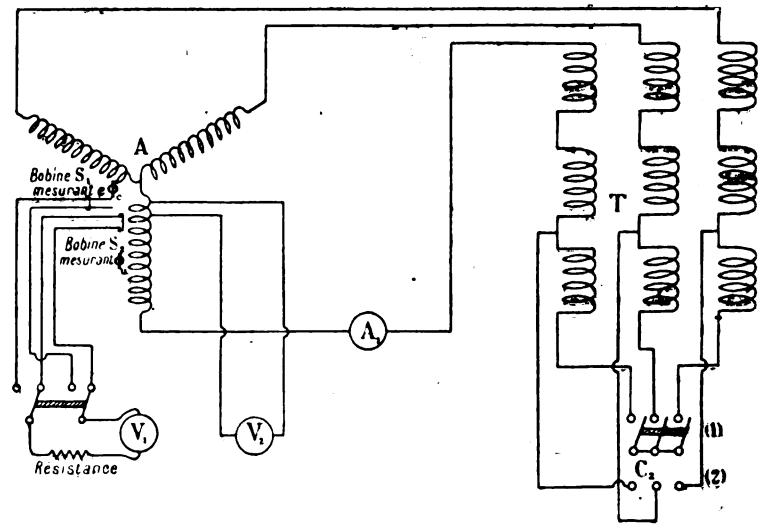


Fig. 7. — Schéma du montage employé pour déterminer la self-induction globale de fuites.

et par phase :

$$0{,}189 \cdot 10^{-3}\ 6 = 1{,}13\ 10^{-3}\ \text{henry}.$$

(1) On remarquera que si k est différent de 1 (enroulement à plusieurs encoches par pôle et par phase), on ne doit plus comparer $e_{\Phi u}$ à $e_{\Phi e}$ mais à $k\,e_{\Phi e}$, parce que la bobine mesurant Φ_e embrasse un pôle entier, tandis que la bobine mesurant Φ_u suit tout le contour de l'enroulement d'une phase de l'induit. La résistance de l'ampèremètre était ici négligeable devant celle de la bobine; en général, il est bon d'en tenir compte.

Digitized by Google

DÉTERMINATION DE LA SELF-INDUCTION GLOBALE PAR L'ESSAI EN COURT-CIRCUIT. — Les valeurs trouvées dans l'essai sont les suivantes :

	Vitesse de l'alternateur. t : min	I_{cc} ampères	$e\Phi u$ volts	$e\Phi e$ volts	$e\Phi u$ volts	$e\Phi e$ volts
1)	514	105	0,62	1,01	0,75	1,21
2)	502	90	0,532	0,865	0,647	1,036
			Valeurs relevées.		Valeurs corrigées (1).	

Nous avons trouvé dans un essai en court-circuit ;

Vitesse alternative.	I_{cc}	$e\Phi u$	$e\Phi e$	$e\Phi u$	$7\Phi e$
514	105	0,62	1,01	0,75	1,21
502	90(norm.)	0,532	0,865	0,647	1,036.

On en déduit :

$z = \frac{e_{\Phi e}}{I}$, $e_{\Phi e}$ étant la force électromotrice par phase,

$$l_s = \frac{\sqrt{z^2 - r^2}}{\omega},$$

la résistance d'une phase a été trouvée de 0,07 ohm ; pour tenir compte de la résistance de l'ampèremètre dans l'essai en court-circuit, nous porterons cette résistance à 0,09 ohm

Nous trouvons : (avec $6 \times 9 = 54$ spires par phase)

$$z = \frac{1,21 \times 6 \times 9}{105} = 0,622 \text{ ohm dans le 1er essai,}$$

$$= \frac{1,036.6.9}{90} = 0,621 \text{ ohm (2e essai),}$$

l'impédance aux vitesses données est pratiquement la même dans les deux essais.
Pour le 1er essai :

$$l_s = \frac{\sqrt{0,622^2 - 0,09^2}}{514} = \frac{0,615}{514} = 1,17\ 10^{-3} \text{ henry,}$$

pour le 2e essai :

$$l_s = \frac{0,615}{502} = 1,22\ 10^{-3} \text{ henry.}$$

IX. — **Mesure du flux inducteur sans bobine d'épreuve.** — 1° VALEUR DE LA CONSTANTE DE TEMPS DU CIRCUIT INDUCTEUR (EN RÉGIME NON SATURÉ). — Pour un courant d'excitation de 1 A, $\Phi_1 = 0,22\ 10^6$ maxwell

$$N\Phi_1 = 12.261\ 0.22\ 10^6 \simeq 7\ 10^9 \text{ maxwells,}$$

ce qui correspond à une self-induction de 7 henrys.

(1) La résistance de la bobine S_2 étant 0,64 ω, celle de S_1 0,61 ω et celle du voltmètre 3,075 ω, il y aura lieu de faire des corrections de lecture : multiplier les indications du voltmètre par les facteurs $\frac{3,075 + 0,64}{3,075}$ dans le 1er cas et $\frac{3,075 + 0,61}{3,075}$ dans le second.

Résistance de l'inducteur 3,4 ohms.

Constante de temps de l'inducteur seul $\frac{7}{3,4} = 2$ sec.

2° SCHÉMA DE MONTAGE ET MANIPULATIONS. — Le montage est représenté schématiquement par la figure 8.

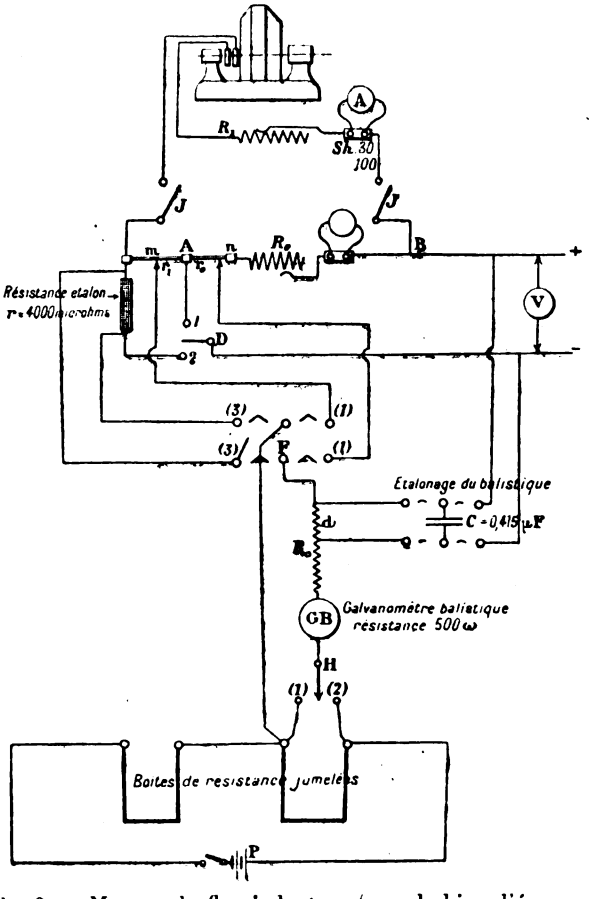


Fig. 8. — Mesure du flux inducteur (sans bobine d'épreuve) à vide ou en charge.

Le commutateur D étant à la position (1) ainsi que les cavaliers F et l'interrupteur bipolaire JJ fermé.

a) On réalise l'équilibre du galvanomètre balistique *GB* en régime permanent.

b) On manœuvre l'interrupteur JJ, on note l'élongation δ du galvanomètre balistique.

La mesure principale est faite.

Il faut maintenant mesurer $(r_1 + r_0)$ par la méthode d'opposition :

c) On coupe JJ, le commutateur D est à la position (2) ainsi que le commutateur H.

d) Les cavaliers F sont toujours en (1), pour faire l'équilibre du galvanomètre il faut en ρ une résistance ρ'.

e) Les cavaliers F sont en (3) ; pour réaliser l'équilibre il faut en ρ une résistance ρ''. On a

$$(r_1 + r_0) = r'' \cdot \frac{\rho''}{\rho'}.$$

Digitized by Google

Enfin on mesure la résistance totale $(R_0 + R_1)$ du circuit fermé.

A inducteur B R_0 A

et on étalonne le galvanomètre balistique avec le condensateur étalon C (1).

(En pratique, ces mesures se réduiraient, pour chaque point à la mesure principale ($\S$ *ab*) ; r_1 et r_0 sont pris sur une barre graduée et étalonnée ; R_0 est une résistance non inductive graduée, enfin le balistique est étalonné une fois pour toutes).

3° Formule d'emploi du montage. — On a vu p. 813) que le balistique donne une élongation

$$\theta = K \frac{G}{R_c + g} \frac{r_1}{R_1} (N\Phi).$$

Par l'étalonnage du balistique avec une charge CV que l'on décharge aux bornes d'une portion a de résistance R_c en série avec le balistique :

$$\theta_0 = K \frac{G}{R_c + g} a (CV).$$

D'où

$$\frac{\theta}{\theta_0} = \frac{r_1}{R_1} \frac{(N\Phi)}{a(CV)},$$

$$N\Phi = a (CV) \frac{R_1}{r_1} \frac{\theta}{\theta_0}.$$

Ou, si l'on préfère mesurer globalement $R_1 + R_0$ au lieu de R_1, et $r_1 + r_0$ au lieu de r_1, puisque $\frac{R_1}{r_1} = \frac{R_0}{r_0}$ on a :

$$N\Phi = a (CV) \frac{R_1 + R_0}{r_1 + r_0} \frac{\theta}{\theta_0}.$$

4° Résultats numériques. — Le galvanomètre balistique avait une période de 17 secondes, le moment d'inertie du cadre a été augmenté par l'addition de masses supplémentaires et la période s'est trouvée portée à 33 secondes environ.

(1) *Choix entre la coupure et la fermeture.* — On a vu théoriquement (p. 814) que les deux cas étaient équivalents. Pratiquement, il faut distinguer : la fermeture a l'avantage de ne pas occasionner d'arc qui, s'il n'est pas coupé instantanément, peut entrainer des erreurs. Mais, d'autre part, la fermeture correspond à une constante de temps (τ_f) plus grande que (τ_0) de l'ouverture :

$$\tau_f = \frac{L_1}{R_1},$$

$$\tau_0 = \frac{L_1}{R_1 - R_2}.$$

Si l'on emploie un balistique (et non un fluxmètre) on a intérêt à avoir une constante de temps τ_0 la plus petite possible, ce qui conduit à augmenter R_0 (il est à recommander de couper dans l'huile).

Le balistique de résistance égale à 500 ohms est en série avec une résistance de 1 200 ohms, l'ensemble est branché entre les contacts m et n qui portent sur une barre de maillechort cylindrique de 6,5 mm de diamètre (long a m en série avec le circuit « gros fil ».

Courant dans l'inducteur $I_1 = 47{,}5 \times \frac{30}{100} = 14{,}25$ A.

Courant dans le circuit dérivé AB = 25 A.

Elongation du balistique à la coupure $\theta = 205$.

Mesure de la résistance $(r_1 + r_0$ entre contacts m et n, de la barre de maillechort par la méthode d'opposition

$$r_1 + r_0 = r'' \frac{\rho'}{\rho''} = 4\,000 \text{ microhms} \times \frac{110{,}5}{218}$$

$$= 2\,580 \text{ microhms}.$$

$$a = 800 \qquad CV = 0{,}415\ 10^6 . 120{,}5 \text{ coulomb}$$

$$\theta_0 = 145 \text{ mm}. \qquad \theta = 205,$$

$$R_1 + R_0 = 13 \text{ ohms } 3, \qquad r_1 + r_0 = 2\,580 \text{ microhms}.$$

$$N\Phi_1 = 800 . 0{,}415 10^{-6} . 120{,}5 \frac{13{,}3}{0{,}002\,580} \frac{205}{145},$$

avec $N = 12 \times 261$.

$$\Phi_i = 3{,}18\ 10^6 \text{ maxwells}.$$

Erreur de 10 pour 100 par défaut due à ce que la période propre du balistique est trop faible et résultant également du magnétisme rémanent ; il aurait été préférable d'inverser le courant dans l'inducteur. Voir Note à la fin de l'article.)

X. — **Mesure des coefficients de self induction directe et transversale (sans bobine d'épreuve).** — En principe, la méthode exposée précédemment pour la mesure du flux inducteur est applicable à la mesure des coefficients de self-induction directe et transversale et même plus avantageusement pour deux raisons.

1° La constante de temps est beaucoup plus faible que dans le cas de l'inducteur au moins dans le rapport de 100). Ceci réduira considérablement l'erreur due au balistique. En général un balistique de modèle courant sera satisfaisant.

2° Le flux dans le circuit induit étant relativement faible, on est conduit à prendre comme shunt sur lequel est dérivé le balistique ou le fluxmètre une résistance de l'ordre de plusieurs ohms, au lieu de quelques centièmes d'ohms dans le cas de l'inducteur. La mesure de cette résistance sera donc plus facile.

Premier cas. — Alternateur monophasé. — Aucune difficulté. On mesure par la méthode exposée, le flux dans le circuit de l'induit parcouru par un courant continu constant I, le rotor étant calé, soit dans la position statique déwattée, soit dans la position statique wattée.

L'inducteur est excité convenablement pour réaliser l'état de saturation voulu, on coupe simultanément les courants induit I et inducteur.

Digitized by Google

DEUXIÈME CAS. — ALTERNATEUR TRIPHASÉ (EN ÉTOILE). — Il s'agit de mesurer le flux dans l'une des phases OA siège d'un courant constant I, en position statique wattée ou déwattée, les deux autres phases étant traversées chacune par $\frac{I}{2}$ (fig. 9). L'inducteur est excité pour réaliser la saturation voulue (1).

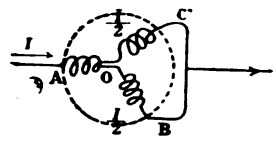


Fig. 9. — Distribution des courants continus dans l'induit d'un alternateur triphasé pour la mesure statique des coefficients de self-induction directe et transversale.

Montage n° 1. — Le montage 1 (fig. 10) est applicable quand on peut séparer l'une des phases OA que l'on fait traverser par le courant I et sur laquelle on applique la

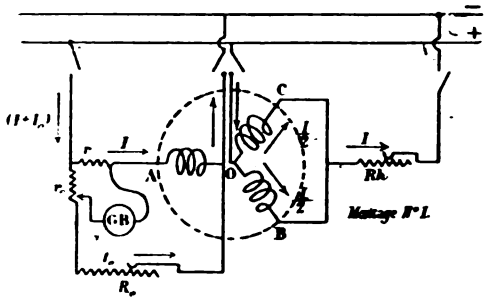


Fig. 10. — Montage n° 1 (sans bobine d'épreuve).

méthode de mesure précédemment exposée. Cette phase et sa dérivation non inductive R_0 forment le circuit principal. Les deux autres phases OB et OC sont traversées chacune par des courants divergents $\frac{I}{2}$, elles forment un circuit auxiliaire dont le seul but est de réaliser fictivement l'état magnétique normal.

On mesure le flux dans la phase OA, soit en coupant simultanément tous les courants (y compris l'excitation), soit en les renversant.

La coupure sera toujours préférable à la fermeture à cause de la grande constante de temps de l'inducteur.

Montage n° 2. — Le montage 2 (fig. 11) est plus général parce qu'il n'exige pas, comme le précédent, la séparation de l'une des phases ; mais il suppose seulement le point neutre O accessible. Le montage principal est constitué comme plus haut par la phase OA en série avec une petite résistance r et par la dérivation non inductive R_0. Le circuit auxiliaire est constitué par les deux phases OB et OC en parallèle (sièges des courants divergents $\frac{I}{2}$) en série avec un rhéostat d'une part, et reliées au point neutre O d'autre part. Cette dérivation est réglée pour être siège, comme la dérivation R_0 du courant I_0. On mesure les flux dans la phase OA par la *coupure* simultanée de tous les courants (y compris l'excitation). Les extra-courants s'amortissent dans deux circuits fermés qui n'ont qu'un seul point commun O.

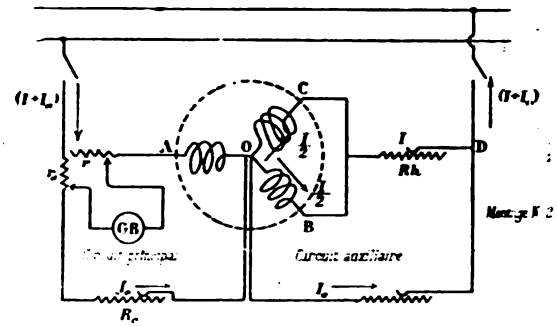


Fig. 11. — Montage n° 2 (sans bobine d'épreuve).

Le balistique donne ainsi des indications proportionnelles au flux dans la phase OA.

Application expérimentale du montage n° 2 à l'alternateur Harlé. — 1° *Self-induction transversale* (L_t) appliquons la formule de la page 852, en remplaçant $N\Phi$ par L_t

$$L_t I = a\,(CV)\,\frac{R_1 + R_0}{r_1 + r_2}\,\frac{\theta}{\theta_0}.$$

On a pour une excitation nulle de l'inducteur (régime non saturé)

$$I = 43 \text{ ampères}, \qquad a = 800 \text{ ohms}$$

$$CV = 0{,}425\ 10^{-6} \times 111{,}5 = 48{,}7\ 10^{-6}$$

$$R_1 + R_0 = 8{,}6 \text{ ohms}, r_1 + r_0 = 8{,}2 \text{ ohms}, \theta_0 = 48, \theta = 215$$

$$L_t I = 800\ 48{,}7 10^{-6}\,\frac{8{,}6}{8{,}2}\,\frac{215}{48} = 0{,}183$$

unité de flux dans le système pratique.

$$\text{(Par phase) } L_t = \frac{8{,}185}{43} = 0{,}004 \text{ henry.}$$

Cette valeur est supérieure à la valeur trouvée avec une bobine d'épreuve placée dans l'entrefer (page 846; 3,27 mille henrys) qui doit, en effet donner un résultat par défaut à cause des fuites de denture.

2°) *Self-induction directe* (L_d)

Comme précédemment :

$$L_d I = a(CV)\,\frac{R_1 + R_0}{r_1 + r_0}\,\frac{\theta}{\theta_0}.$$

On a, pour une excitation nulle de l'inducteur (régime non saturé) :

$$I = 43 \text{ amp.} \qquad a = 800 \text{ ohms}$$

$$CV = 0{,}415 . 10^{-6} . 117{,}5 = 48{,}7 10^{-6}$$

$$R_1 + R_0 = 8{,}6 \text{ ohms}, r_1 + r_0 = 8{,}2 \text{ ohms}, \theta_0 = 48, \theta = 253.$$

(1) Voir page 845 la méthode statique de mesure de self-induction avec bobine d'épreuve.

Digitized by Google

Par phase $L_d = \frac{1}{44} \cdot 800 \cdot 48{,}7 \frac{8{,}6}{8{,}2} \cdot \frac{253}{48}$.

$$L_d = 0{,}005 \text{ henry } (^1).$$

Conclusions. — Nous nous sommes proposés de rechercher une méthode expérimentale permettant d'analyser complètement sur un alternateur construit tous les coefficients de réaction et de self-induction de fuites qui entrent dans la théorie complète afin de recueillir des données précises pouvant aider à la construction d'autres alternateurs et accessoirement à la prédétermination des chutes de tension en charge (1).

Nous avons ainsi été conduits à exposer d'abord une méthode pour la mesure directe du flux inducteur de l'alternateur (à vide ou en charge) n'exigeant pas l'emploi de bobines d'épreuve sur les noyaux polaires et de bagues auxiliaires sur l'arbre.

Nous avons indiqué ensuite, comment on peut déterminer la *caractéristique des fuites* f_1 entre les pièces polaires en faisant fonctionner l'alternateur en courant déwatté à *flux inducteur constant*. La réluctance R_{f1} est

(1) *Remarque.* — Dans ces mesures de self-inductances de l'induit, la constante de temps était, au plus :

$$\tau_d = \frac{L_d}{R_1 + R_0} = \frac{0{,}005}{8{,}6},$$

$$\tau_d < \frac{6}{10\,000} \text{ seconde.}$$

Ce qui est correct pour un balistique dont la période était portée à 33 secondes environ.

Mais pour la mesure du flux inducteur, nous avons vu qu'il faut recourir au fluxmètre, qui d'ailleurs est plus employé dans l'industrie que le balistique.

Emploi du fluxmètre. — Il suffit de remplacer le balistique par un fluxmètre, dans les montages précédents.

Dans ce cas la constante de temps des circuits inductifs étudiés peut être beaucoup plus élevée qu'avec le balistique ; puisque, avec ce dernier appareil, toute la quantité d'électricité doit passer pendant le temps très court où la déviation θ est sensiblement nulle, tandis qu'avec le fluxmètre, il suffit que le courant i qui le traverse soit nul aux limites d'intégration

$$\theta = 0, \quad \theta = \theta_{max}.$$

Pour $\theta = 0$, $i = 0$ (la condition $\frac{r_0}{R_0} = \frac{r_1}{R_1}$ étant remplie).

Pour $\theta = \theta_{max}$ on aura également $i = 0$ avec un fluxmètre dont le couple directeur est négligeable devant les autres couples ; ce qui est justement le principe de l'instrument.

Elimination de l'erreur de mesure résultant du magnétisme rémanent. — On a vu précédemment (p. 814 et 852) que

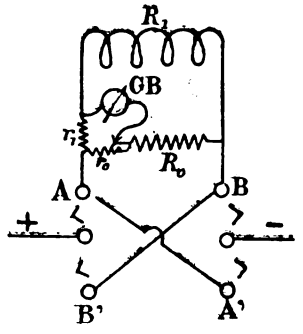


Fig. 12. — Montage pour l'inversion de la différence de potentiel V.

le montage s'applique aux deux cas d'ouverture et de fermeture, il en résulte que, pour éviter l'erreur due au rémanent, on pourra inverser la différence de potentiel V aux bornes AB du montage (fig. 12). Le courant dans l'inducteur variera suivant la loi représentée ci-contre (fig. 12 *bis*).

Supposons que l'on coupe au temps initial, et que l'on inverse au temps t'. Pendant le temps t' le courant dans l'inducteur, décroît depuis la valeur initiale I_1 jusqu'à I' suivant une loi d'allure exponentielle (si la self-induction était constante avec une constante de temps $\tau_0 = \frac{L}{R_0 + R_1}$). La quantité d'électricité qui passe dans le fluxmètre, ou le balistique est :

$$N(\Phi_1 - \Phi') \frac{r_1}{R_1} \frac{1}{R_c + g},$$

(Φ_1 et Φ' étant les flux correspondant à I_1 et I').

Après l'instant t', le courant dans l'inducteur tend vers $(-I_1)$ avec une constante de temps, si la self-induction était

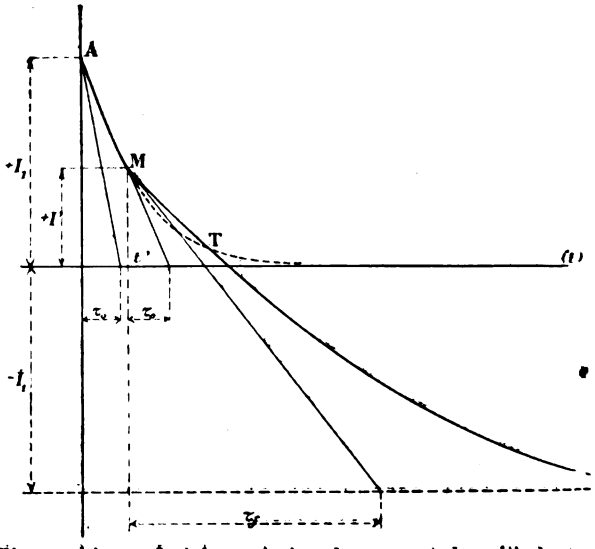


Fig. 12 bis. — Loi de variation du courant dans l'inducteur pendant l'inversion.

constante $\tau' \backsimeq \frac{L}{R_1}$, et la quantité d'électricité qui passe dans le fluxmètre (ou le balistique) est

$$N[\Phi' - (-\Phi_1)] \frac{r_1}{R_1} \frac{1}{R_c + g}.$$

Par suite, la quantité totale d'électricité traversant l'appareil est la somme :

$$2N\Phi_1 \frac{r_1}{R_1} \frac{1}{R_c + g}.$$

Nous supposons bien entendu dans ce qui précède que la condition fondamentale $\left(\frac{r_0}{R_0} = \frac{r_1}{R_1}\right)$ est satisfaite.

(1) Cette prédétermination des chutes de tension en charge n'exige qu'une faible partie des mesures que nous avons indiquées et peut se réduire pratiquement à la mesure statique des coefficients de réaction directe et du coefficient de self-induction transversale.

Digitized by Google

égale, au signe près, au rapport de la variation d'excitation totale Δni à la variation de flux dans l'entrefer $\Delta \Phi_e$:

$$R_{fl} = -\left(\frac{\Delta ni}{\Delta \Phi_e}\right)_{\Phi_i = \text{constante.}}$$

Le coefficient A de réaction directe peut être mesuré en faisant débiter l'alternateur en courant *complètement déwatté, à flux dans l'entrefer constant*, pour un régime *très au-dessous de la saturation*. Nous avons montré que, dans ces conditions, on a, en désignant par ΔI_d la variation de courant déphasé correspondant à une variation Δni des ampères-tours totaux d'excitation.

$$A = \left(\frac{\Delta ni}{\Delta I_d}\right)_{\Phi_e = \text{constante.}}$$

La caractéristique linéaire de l'entrefer est également déduite du fonctionnement de l'alternateur en courant *complètement déphasé, à flux inducteur constant*, pour un régime correspondant au-dessous de la saturation :

$$R_e = \left(\frac{\Delta ni - \Delta A I_d}{\Delta \Phi_e}\right)_{\Phi_i = \text{constante.}}$$

Nous avons introduit la méthode nouvelle de mesure des réactions de l'alternateur en courant watté et en courant déwatté par une méthode statique, c'est-à-dire en envoyant simplement du courant continu dans les enroulements induits (les inducteurs étant excités).

M. Herdt avait déjà indiqué en 1902 l'emploi d'un courant unique traversant l'alternateur calé dans les deux positions wattée ou déwattée, mais c'était du courant alternatif et nous avons trouvé à cet emploi de sérieuses objections qui n'existent plus quand on emploie du courant continu.

Les mesures se font au balistique ou au fluxmètre dans deux positions :

1° *Position statique déwattée* : le rotor est calé de façon que les axes des bobines d'une phase coïncident avec les axes des pôles inducteurs.

2° *Position statique wattée* ; le rotor est calé de manière que les bobines d'une phase soient à cheval sur les pôles inducteurs.

Dans les deux cas, la phase considérée est traversée par un courant continu d'intensité I égale à $\sqrt{2}$ l'intensité efficace du courant alternatif correspondant et si l'alternateur est triphasé, les deux autres phases sont parcourues par des courants continus d'intensité moitié $\frac{I}{2}$. Le sens du courant continu, dans le premier cas, est déterminé de manière que les ampères-tours du rotor et du stator produisent des flux opposés ou de même sens suivant que l'on veut réaliser l'analogue du fonctionnement déwatté respectivement arrière ou avant.

Les méthodes proposées plus haut nécessitant le fonctionnement de l'alternateur en débit déwatté, s'appliquent directement en fonctionnement statique déwatté.

En outre, le rotor étant calé dans la position statique wattée, puis déwattée, on peut réaliser divers régimes de saturation de l'inducteur et de l'induit et mesurer, à l'aide de bobines d'épreuves les coefficients de self-induction transversale et directe ainsi que le coefficient de self-induction de dispersion de l'induit.

On peut même éviter l'emploi de bobines d'épreuve, en ce qui concerne les coefficients de self-induction directe et transversale, en appliquant la méthode de mesure de flux que nous avons proposée (au début du Mémoire) pour le flux dans l'inducteur.

A. Blondel et F. Carbenay.

Revues, analyses et informations

Sur la mesure en valeur absolue des périodes des oscillations électriques de haute fréquence.

A la séance de l'Académie des Sciences du 2 juin 1919 (1) MM. Henri Abraham et Eugène Bloch ont présenté la note suivante :

1. La détermination précise des longueurs d'ondes des oscillations électriques de haute fréquence utilisées en télégraphie sans fil a une grande importance pratique. Elle intervient en particulier dans l'étalonnage des ondemètres ou contrôleurs d'ondes, et dans toutes les mesures de haute fréquence.

On l'a fait reposer jusqu'ici sur l'emploi de self-inductions et de capacités étalonnées, associées de manière à constituer un circuit oscillant de longueur d'onde connue. Mais il paraît difficile de dépasser ainsi la précision de 1 pour 100.

La méthode que nous proposons, et qui paraît préférable, consiste à déterminer directement en valeur absolue *la période* de l'oscillation par comparaison avec celle d'un diapason étalonné. La longueur d'onde se calcule ensuite en multipliant la période par la valeur connue de la vitesse de propagation des ondes. Cette méthode a été étudiée pendant les années 1916 et 1917 pour les besoins de la radiotélégraphie militaire.

2. Les opérations à réaliser sont les suivantes :

A. On étalonne un diapason à mille périodes par seconde par comparaison avec une horloge garde-temps, de manière à avoir la valeur exacte en secondes de la période du diapason.

B. On constitue une source d'oscillations électriques entretenues, dont la fréquence fondamentale puisse être

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 2 juin 1919, t. CLXVIII, p. 1 105-1 108, 1 fig.

Digitized by Google

rendue égale à celle du diapason, et l'on règle exactement l'égalité des deux fréquences.

C. Cette source doit être choisie de manière à posséder un nombre suffisant d'harmoniques, au moins quelques dizaines. Les harmoniques d'ordre élevé correspondront à des fréquences d'oscillations électriques usuelles : ainsi, le cinquantième harmonique d'un oscillateur de fréquence fondamentale 1 000 aura la fréquence 50000, c'est-à-dire une longueur d'onde voisine de 6 000 m. C'est une longueur d'onde de télégraphie sans fil.

D. Il faut enfin comparer la fréquence ou la longueur d'onde d'un harmonique d'ordre connu avec celle des oscillations de haute fréquence que l'on se propose de mesurer.

3. Donnons quelques indications sur les dispositifs utilisés et sur les résultats obtenus.

A. L'étalonnage de nos diapasons au moyen d'une horloge battant la seconde a été fait par une méthode photographique et par une méthode stroboscopique. Nous n'insisterons pas ici sur ces méthodes qui donnent sans difficulté des résultats exacts à $\frac{1}{10000}$ près (1).

B. La réalisation d'oscillations électriques entretenues de fréquence fixe et réglable n'offre pas non plus de difficulté, grâce à l'emploi des lampes à deux électrodes auxiliaires (audions). Les oscillateurs connus sous le nom d'*hétérodynes* fournissent une des solutions du problème. Le réglage à l'unisson de la fréquence fondamentale de l'oscillateur et de celle du diapason peut être fait avec une précision de $\frac{1}{10000}$, en utilisant la méthode des battements.

C. Les hétérodynes ordinaires possèdent quelques harmoniques. On pourrait donc s'en contenter à la rigueur en procédant par échelons avec plusieurs hétérodynes, dont chacune aurait une fréquence fondamentale accordée sur la fréquence de l'harmonique 3 ou 4 de la précédente.

Il est plus sûr et plus précis de constituer un oscillateur électrique très riche en harmoniques, qui permette de passer sans intermédiaire d'une fréquence musicale aux fréquences de sans fil. C'est après avoir, au cours d'autres essais, réalisé un oscillateur de ce genre, que nous avons été amenés à en faire l'application qui fait l'objet de la présente note. Nous avons donné à cet oscillateur le nom de *multivibrateur*. Il fournit, en effet, en plus de l'onde fondamentale, tous les harmoniques jusqu'à des rangs très élevés (200 ou 300). L'appareil consiste en un groupe de deux lampes, convenablement couplées par capacités et par résistances, et sa fréquence fondamentale se règle par la variation des capacités. La propriété qu'il possède d'être extraordinairement riche en harmoniques est due à ce que le circuit oscillant est parcouru par des décharges alternatives très brusques, dont la durée est extrêmement courte par rapport à l'intervalle de temps qui les sépare.

D. Enfin, la comparaison de la période d'un harmonique d'ordre connu (50 ou 100) par exemple) avec la période du du circuit à étalonner se fait par résonance électrique. Le circuit du multivibrateur est couplé très faiblement avec le circuit étudié, et l'on établit la résonance par réglage de ce dernier circuit. Pour constater la résonance, le circuit étudié est lui-même couplé très faiblement avec un amplificateur détecteur, qui permet de vérifier la résonance au téléphone. On opère comme dans une réception ordinaire de télégraphie sans fil en ondes entretenues. Aussi est-il commode et précis d'utiliser, comme en télégraphie sans fil, une hétérodyne auxiliaire, qui permet de choisir un son de battements et fournit des résonances d'une extrême finesse. L'opération de mise en résonance peut se réaliser à moins de $\frac{1}{1000}$ près de la longueur d'onde à étalonner.

En résumé, en utilisant un multivibrateur riche en harmoniques, dont la fréquence fondamentale est comparée directement à celle d'un diapason, et, par lui, à la seconde fondamentale, et en combinant son emploi avec une méthode de résonance électrique, qui permet de comparer les harmoniques du multivibrateur aux oscillations propres d'un circuit de haute fréquence, *on détermine directement en valeur absolue la période du circuit oscillant.* La précision globale atteinte dans l'ensemble des opérations est au moins du millième.

Ce procédé de comparaison directe de l'unité de temps (la seconde) aux périodes d'oscillations des circuits électriques, qui peuvent se trouver un million de fois plus courtes, pourrait être rapproché du procédé employé par Michelson pour comparer directement l'unité de longueur (le mètre) aux longueurs d'ondes lumineuses.

(1) M. Bull a bien voulu contrôler nos résultats à l'Institut Marey par une méthode photographique tout à fait directe : l'accord s'est maintenu au $\frac{1}{10000}$ près.

Nouvelles observations relatives à la production de spectres métalliques par luminescence cathodique (1).

Poursuivant des expériences antérieures, les auteurs ont étudié les spectres du titane, du manganèse, du fer, du magnésium, du calcium et du cadmium. Le métal était vaporisé sous l'action des rayons cathodiques dans un vide élevé et on observait le spectre de la vapeur dans le flux cathodique. — Les expériences ont montré la possibilité d'obtenir, par cette méthode, des spectres très riches même pour les métaux à point de fusion élevé. Ainsi on identifie environ 140 raies pour le titane et 150 pour le manganèse. D'une manière générale, la plupart des raies dans le spectre de luminescence sont celles qui se produisent aisément dans l'arc, mais certaines particularités indiquent que la source possède des caractéristiques particulières et l'action semble différente pour les différentes vapeurs. Pour le titane, le spectre ressemble beaucoup à celui obtenu au four, les raies renforcées étant absentes, tandis que le cadmium, le magnésium et le calcium ont une tendance très nette à montrer les raies renforcées. Dans l'ultra-violet on note une intensité relativement élevée des raies. — Dans le dispositif normal, la vapeur dont on photographie le spectre se trouve hors du trajet du courant, l'anode étant sur un côté de l'ampoule. Quand on utilise l'anticathode comme anode, le spectre obtenu est beaucoup plus intense, mais pour les éléments étudiés on n'a noté aucune différence dans l'intensité relative des raies. Une décharge de ce genre donne environ 120 raies dans le spectre du fer, les intensités relatives des raies présentant certaines particularités intéressantes. Certains groupes sont très intenses, parmi lesquels quelques-uns sont caractéristiques de l'émission à basse température, tandis que d'autres nécessitent dans des sources différentes une excitation intense.

A. B.

(1) Edna Carter et Arthur S. King. *Physical Review*, février 1919, 2e série, t. XIII, p. 152, 350 mots.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

L'émission thermo-électrique et ses applications : Le kénotron

Les récents perfectionnements à la technique de l'obtention des hauts vides ont permis de réaliser des redresseurs électriques à très haute tension. La première partie de cet article est un exposé rapide des phénomènes mis en jeu; la seconde partie traitera des applications de ces phénomènes pour la construction d'un redresseur dit « Kénotron ».

Introduction. — Parmi les problèmes les plus ardus qui se posent aux électrotechniciens, l'obtention du courant haute tension, continu ou tout au moins de même sens, est certainement un de ceux qui a le plus exercé leur sagacité.

Les appareils employés dans ce but peuvent se classer en deux groupes principaux, suivant qu'ils emploient uniquement des moyens mécaniques, ou qu'ils utilisent comme moyen principal l'induction électro-statique, combinée avec un procédé quelconque de redressement. Nous allons examiner rapidement ces deux types de solutions.

Procédés mécaniques. — La dynamo à courant continu est limitée à quelques milliers de volts, la machine statique peut donner de très hautes tensions (dépasser même 200 000 v), mais les intensités très faibles (0,001 A) qu'elle peut fournir n'en rendent pas l'emploi possible dès que la puissance à mettre en jeu devient un peu importante. La machine rhéostatique de Planté, chargeant une série de condensateurs en parallèle et les déchargeant en série, n'a jamais pu être construite pratiquement à cause de la délicatesse de son commutateur, elle est d'ailleurs fort encombrante, même pour des puissances faibles.

Procédés par redressement de courants alternatifs. — Les appareils d'induction, ont fourni des solutions meilleures quant à la commodité d'emploi et quant aux puissances possibles à obtenir. En partant d'un courant de secteur continu ou alternatif, il est facile, au moyen de transformateurs industriels, d'obtenir des différences de potentiel élevées mais alternatives.

Pour produire des différences de potentiel toujours de même sens, il faut donc adjoindre à ces appareils un dispositif formant soupape ou redresseur pour supprimer l'une des ondes ou l'envoyer dans le circuit extérieur dans le même sens que l'autre onde.

Ces appareils existent et sont depuis longtemps utilisés ; les uns sont simplement constitués par un commutateur tournant en synchronisme avec le courant à redresser, c'est la solution mécanique de la question, les autres utilisent les phénomènes complexes de la décharge dans les gaz raréfiés et donnent une autre solution du problème.

Sans examiner davantage le premier procédé, qui donne d'ailleurs de bons résultats, il est facile de voir que cette solution fait perdre une des qualités les plus précieuses des propriétés des courants alternatifs, leur transformation par appareils sans aucun organe en mouvement.

Le second procédé conduit à des appareils plus petits, ne faisant aucun bruit, et ne nécessitant aucune surveillance, s'ils sont établis avec les derniers types d'appareils à vide dont nous allons parler.

Toutes ces raisons, jointes à la diffusion extrêmement grande des distributions de courant alternatif, font préférer et ont beaucoup contribué au développement des appareils du type à induction statique.

C'est cette dernière catégorie d'appareils que nous allons étudier, tant au point de vue de leur fonctionnement que de leurs applications.

Les redresseurs à vide. — Différents modes de décharge dans les gaz raréfiés. — Lorsqu'entre deux électrodes placées dans une enceinte vidée on établit une différence de potentiel suffisante, on observe des phénomènes très différents suivant la pression du gaz résiduel.

Pour des pressions assez élevées (0,1 à 0,001 mm de mercure), il y a spontanément décharge, sous la simple condition que la différence de potentiel soit suffisante. Le mécanisme de cette décharge est bien connu, nous ne le rappellerons que succinctement. Les ions positifs qui existent toujours dans les gaz, sous l'effet de la différence de potentiel appliquée, viennent heurter l'électrode négative ; ces impacts libèrent des électrons du métal de l'électrode, le champ repousse ces électrons qui constituent le faisceau cathodique. Pendant leur parcours qui peut se faire avec une très grande vitesse, ils rencontrent un certain nombre de molécules gazeuses, quel-

Digitized by Google

ques-unes sont disloquées, et forment des ions des deux signes. Les ions positifs vont heurter la cathode, les ions négatifs suivent le trajet des rayons cathodiques comme les électrons initiaux.

Si la pression s'abaisse (moins de 0,0001 mm de mercure), les phénomènes précédents deviennent de plus en plus petits, et le courant véhiculé est absolument négligeable, quelle que soit la différence de potentiel appliquée (100 000 v et plus) et la distance des électrodes; c'est l'absence presque complète des molécules gazeuses qui entraîne cet effet, et la dépression nécessaire pour l'obtenir porte le nom de vide de Hittorf.

Il est cependant possible de rétablir la décharge, même en l'absence de gaz, et par conséquent, d'ions positifs, dont le bombardement arrache les électrons à la cathode. Les ions positifs ne sont pas indispensables pour le transport du courant, ils n'ont que le rôle auxiliaire de produire le faisceau cathodique. Si donc on produit des électrons à la cathode par un moyen auxiliaire, la décharge se rétablira, mais n'aura que la durée de l'action déterminante elle-mme. Ces moyens sont nombreux. ils ont tous pour but de faire sortir des électrons du métal de l'électrode, remplaçant ainsi les ions positifs du premier mode de décharge. Les rayons β et γ des corps radioactifs, un faisceau de Rayons X ou de lumière ultra violette, ou simplement la chaleur, agissant sur l'électrode métallique produisent cet effet. Parmi ces moyens, l'un d'eux surtout retiendra notre attention, c'est l'échauffement; nous l'étudierons plus loin. Une autre particularité de ce mode de décharge est que le courant est transporté *sans support matériel*, c'est l'atome d'électricité, l'électron, qui circule de la cathode à l'anode, et, à part les rares molécules gazeuses ionisées, il n'y a *pas de charges électriques positives*, c'est ce que Langmuir appelle « une pure décharge d'électrons ».

Résumé. — En résumé nous voyons donc que l'agent vecteur indispensable de toute décharge dans les gaz raréfiés, sont les électrons produits à la cathode. Ils peuvent être arrachés spontanément par le choc des ions positifs si la pression est suffisante et ce mécanisme constitue un premier mode de décharge. Si la pression est très basse, le phénomène précédent devient négligeable et il faut s'adresser à un moyen auxiliaire pour obtenir l'émission des électrons indispensables à la décharge; l'échauffement de la cathode est le moyen le plus pratique d'obtenir cet effet.

Utilisation de la décharge dans les gaz raréfiés pour la constitution d'un redresseur a vide. — Les deux modes de décharge que nous venons d'étudier peuvent servir à la constitution de redresseurs. D'une façon générale, nous avons vu que le courant ne pouvait circuler dans une enceinte vidée de gaz que s'il y avait émission d'électrons à la cathode, quel que soit d'ailleurs le mode de leur production. Il suffira donc que l'arrachement des électrons soit possible à l'une des électrodes et plus ou moins empêché à l'autre pour arriver au but que nous nous proposons. Lorsque l'on appliquera une différence de potentiel alternative à un tel système, le courant ne circulera que lorsque l'électrode radiante sera cathode et sera arrêté quand l'électrode non radiante sera à son tour à un potentiel négatif.

Appareils basés sur le premier mode de décharge. — Pour constituer un redresseur avec le premier mode de décharge, il suffira de s'opposer au bombardement de l'une des électrodes, par les ions positifs, pour qu'il ne s'y produise pas d'électrons. On y parvient partiellement en donnant à l'enceinte et aux électrodes différentes formes. C'est M. Villard qui le premier a réalisé un type de « soupape cathodique », plus connu encore sous le nom de « soupape Villard ». D'autres modèles plus robustes sont venus ensuite, notamment la « soupape C. L. » construite par la Société des Etablissements H. Pilon.

Ces appareils ont rendu de grands services, mais, comme nous le disions plus haut, on ne parvient que partiellement à empêcher le bombardement de l'une des électrodes, la dyssymétrie n'est donc que relative et, en réalité, il passe un peu de courant dans les sens où il serait désirable que rien ne passât. Cet effet est faible pour des différences du potentiel de l'ordre de 30 000 à 40 000 v, mais devient gênant pour des tensions supérieures.

On peut éloigner un peu la limite du domaine d'emploi de ces appareils, en en montant plusieurs en série. Cependant la sujétion d'un réglage fréquent de la pression dans chacun des appareils limite ordinairement à deux le nombre d'appareils employés. D'ailleurs d'autres phénomènes rendent à peu près inutiles l'emploi d'un grand nombre d'appareils en série; on remarque en effet que la différence de potentiel se répartit mal entre les divers appareils et que la dyssymétrie totale est loin d'être égale à la somme des dyssymétries de chaque élément. La chute de tension interne de ces soupapes n'est pas très élevée, cependant elle est incomparablement plus grande que celle des appareils que nous allons étudier. Elle dépend pour un même type de la pression intérieure et, dans les conditions les plus favorables, on observe aux bornes de l'appareil des différences de potentiel de l'ordre de 25 000 v pour une intensité de 0,005 a.

Appareils basés sur le deuxième mode de décharge. — La réalisation d'un redresseur est encore plus simple avec ce mode de décharge. La décharge impossible spontanément étant provoquée par l'action d'une cause extérieure *sur l'une des électrodes*, l'appareil est dyssymétrique naturellement, puisqu'à l'autre électrode il ne peut pas se produire d'électrons. Nous avons vu que, dans ces espaces où règnent des pressions si faibles, la décharge ne peut avoir lieu même pour des différences de potentiel énormes (100 000 v et plus). Cette formidable résistance subsiste même si l'une des électrodes émet des électrons et cependant, quand cette électrode est au pôle négatif, la résistance devient si faible, qu'une différence de potentiel de 250 à 500 v suffit à faire circuler des courants pouvant aller pratiquement jusqu'à

Digitized by Google

0,5 A. Les avantages de ce procédé sont évidents, aussi nous étudierons minutieusement les différents problèmes qu'il soulève. Le premier est l'obtention et surtout le maintien dans un espace clos de pressions suffisamment basses pour qu'aucun phénomène d'ionisation appréciable puisse s'y produire ; le second est la production d'électrons par échauffement d'un métal. Ces deux problèmes ont de si nombreux points communs que nous les étudierons en même temps dans le chapitre qui va suivre.

Etude des redresseurs à « pure décharge d'électrons ». — I. — L'ÉMISSION THERMO-ÉLECTRIQUE. — On sait depuis près de deux siècles que l'air devient conducteur au voisinage des corps incandescents, mais ce n'est guère que depuis 1895 que des études suivies ont été faites à ce sujet. Edison fit l'expérience suivante restée classique : il plaça dans une lampe à filament de charbon une lame conductrice et la relia au filament à travers un appareil de mesure (fig. 1). Il constata qu'un

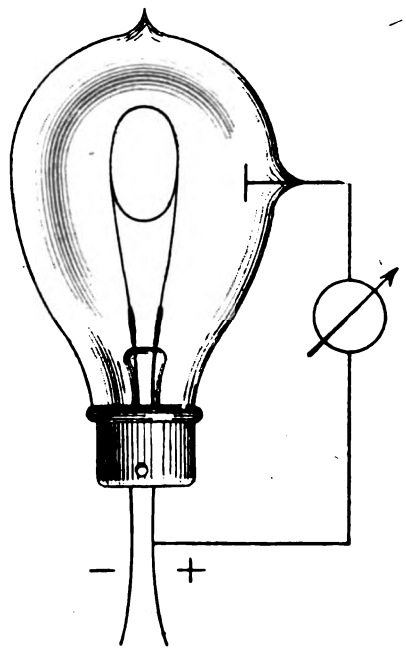


Fig. 1.

courant circulait dans ce circuit dont une partie était constituée par les gaz à faible pression contenus dans l'ampoule.

Fleming (1) a décrit cet effet — connu sous le nom d'effet Edison — dans tous ses détails et, depuis, les travaux ont été de plus en plus nombreux. Malheureusement on a été très long à reconnaître l'énorme difficulté qui se présente lorsqu'on veut réaliser, et surtout maintenir, des vides très élevés, du fait des gaz et vapeurs occlus dans les pièces métalliques ou absorbés par les surfaces de verre. Ces gaz se dégagent sous l'action d'un échauffement ou d'un bombardement cathodique et modifient considérablement la pression ; celle-ci peut s'élever facilement, par le fonctionnement même de l'appareil, de 10^{-7} mm de mercure à 0,1 mm par exemple, si l'on ne prend pas de précautions.

Il en résulte des phénomènes instables, complexes et d'apparence capricieuse ; de nombreux savants ont été ainsi conduits à supposer que l'émission thermo-électrique n'était qu'un effet secondaire lié à la présence de gaz dans l'ampoule, et dû à des réactions chimiques entre la cathode incandescente et ce gaz. Cette opinion se répandit surtout en Allemagne, où on crut la démontrer par d'abondantes expériences, non seulement pour l'émission thermo-électrique, mais encore pour la photo-électricité. Les derniers de ces travaux datent de 1914 (1), et cependant, dès 1903, Richardson (2) avait appliqué au phénomène la théorie électronique des métaux, non sans beaucoup de succès.

Il fallut que, vers 1913 seulement, des expériences faites aux laboratoires de la General Electric Co, en particulier par I. Langmuir, viennent établir, les idées de Richardson sur des bases solides et qui paraissent définitives. Cela fut possible grâce à la réalisation et au maintien de vides très élevés, dans des conditions bien déterminées, à l'aide de procédés de pompage spéciaux. De plus, le même savant élargit et développa la théorie (3) qui paraît d'accord avec les faits actuellement connus.

THÉORIE DE RICHARDSON. — Lorsqu'on échauffe un métal jusqu'à l'incandescence, les électrons libres, qui normalement circulent à l'intérieur des espaces intermoléculaires, prennent une vitesse telle, qu'un certain nombre d'entre eux sortent suffisamment de la surface du métal pour être captés par un champ électrique de sens convenable. En appliquant les lois statiques habituelles, et en considérant les électrons comme les molécules d'un liquide en processus d'évaporation, Richardson a établi la relation suivante, analogue à celle qui régit l'évaporation d'un liquide

$$(1) \qquad i_0 = a\sqrt{T}e^{-\frac{b}{T}}.$$

Dans cette formule i_0 représente l'intensité maximum que le courant pourra atteindre par unité de surface de la cathode, quand elle est portée à la température T.

T est la température absolue.

a est une constante qui dépend du nombre d'électrons libres par unité de volume du conducteur. C'est l'analogue d'une concentration.

(1) FLEMING. *Phil. Mag.* (42), 52, 1896.

(1) Citons entre autres : PRING et PARKER. *Phil. Mag.*, 1912; PRING. *Proc. Roy. Soc.*, 1913; POHLE et PRINGSHEIM. *Phys. Zeit.*, 1913 ; WIEDMANN et HALWACKS. *Ber. d. Deutsch. Ges.*, 1914; FREDENHAGEN et KUSTER. *Phys. Zeit.*, 1914 ; FREDENHAGEN. *Verh. d Deutsch. Phys. Ges.*, 1914.

(2) RICHARDSON. *Phil. Trans.*, 201, p. 516. 1903.

(3) Lire en particulier : *Phys. Rev.*, 2, 2, 450, 1913.

Digitized by Google

b est une constante qui dépend de l'énergie nécessaire pour faire sortir un électron du conducteur; c'est l'analogue d'une chaleur de vaporisation.

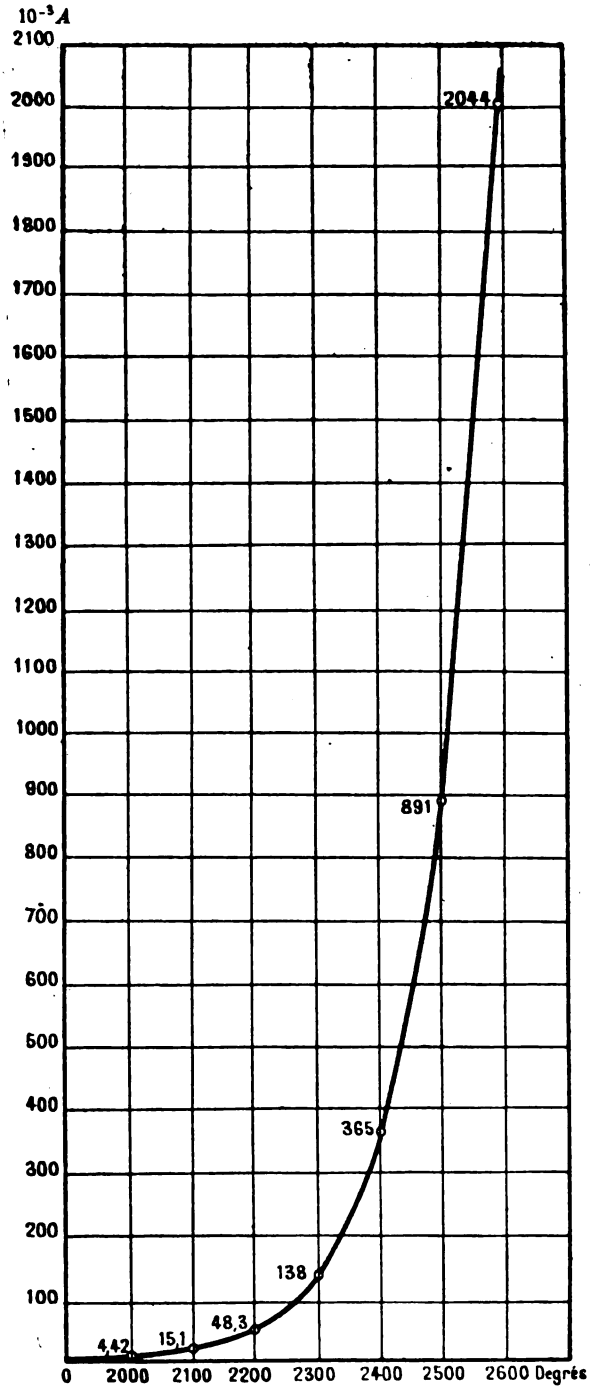


Fig. 2.

a et b ne dépendent que de la nature du conducteur.

La formule de Richardson s'est trouvée pleinement confirmée par l'expérience. Pour le tungstène par exemple, i_0 étant évalué en milliampères par centimètre carré, on a

$$a = 23{,}6.10^{-9}, \qquad b = 52{,}5.10^{-3}.$$

La table ci-dessous donne quelques valeurs numériques tirées de la formule, et la figure 2 représente graphiquement comment i_0 varie en fonction de T.

T ($t°+273$)	2 000	2 100	2 200	2 300	2 400	2 500	2 600
i_0 mA:cm²	4,42	15,1	48,3	138	365	891	2 044

Ces résultats ont été vérifiés par Langmuir en opérant sur une lampe à incandescence renfermant deux filaments de tungstène indépendants, dont l'un quelconque porté au rouge servait de cathode. Dans ce dispositif on peut obtenir facilement des vides très élevés (de l'ordre de 10^{-6} mm de mercure), car la pulvérisation du tungstène sous l'effet d'une surchauffe a pour effet d'absorber la plus grande partie des gaz résiduels.

Formule de Langmuir. — La théorie telle que nous venons de la présenter est incomplète. En effet, pour une température suffisamment élevée, un champ même faible devrait pouvoir donner des courants électroniques considérables ; or il n'en est rien. Par exemple, dans une lampe à incandescence ordinaire à filament de tungstène, une notable partie du courant devrait passer directement à travers l'espace entre les extrémités parallèles a-b du filament sous l'action de la différence de potentiel de 110 v qui existe entre elles (fig. 3). Au contraire, l'expérience montre que tout le courant, à très peu près, continue à passer par le filament : en effet, la résistance de la lampe croît régulièrement comme le coefficient de température du tungstène le fait prévoir à mesure que la température du fil s'élève.

Langmuir a rendu compte de cette anomalie apparente de la façon suivante : à une température donnée, le filament émet un nombre déterminé d'électrons, et le nombre de ceux-ci qui atteignent l'anode est d'autant plus petit que la différence de potentiel est elle-même plus petite. Ceux des électrons qui ne vont pas à l'anode s'accumulent dans l'espace, repoussent les électrons émis derrière eux, et modifient ainsi la distribution du champ de façon à créer une sorte de force contre-électromotrice qui s'oppose à l'émission.

Les intensités données par la formule de Richardson sont donc des limites qui ne sont atteintes que lorsque la différence de potentiel entre les électrodes est assez élevée pour entraîner immédiatement tous les électrons produits sans en laisser s'accumuler une quantité importante dans l'espace. Quand cette condition n'est pas satisfaite, c'est-à-dire lorsque la cathode produit plus d'électrons que le champ n'en peut entraîner, l'intensité du courant n'est plus liée à la température du métal, mais devient une fonction de la différence de potentiel. I. Langmuir a déterminé cette loi par le calcul ; nous citerons deux des applications simples qu'il en a faites.

Soit d'abord le cas de deux électrodes planes paral-

Digitized by Google

lèles de surface illimitée, dont l'une peut être échauffée de façon à radier des électrons par toute sa surface en regard avec l'autre électrode. Supposons le régime établi, à une certaine différence de potentiel V correspond une intensité i_s, sous la condition que la température de l'électrode radiante soit suffisamment grande pour que, avec une différence de potentiel assez grande, on ait une intensité i_0 telle que

$$i_0 > i_s.$$

Pour établir une relation entre V et i_s remarquons tout d'abord que, lorsque le régime est atteint, c'est que

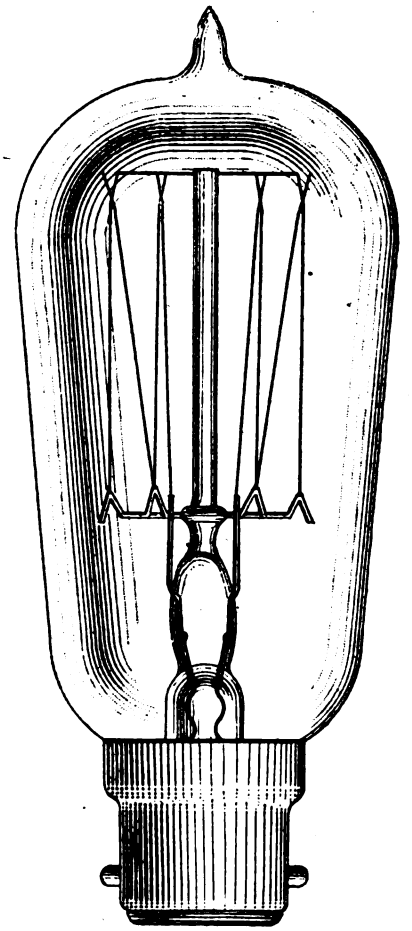


Fig. 3.

la cathode n'est plus soumise à aucun champ, sinon le courant continuerait à passer, puisque des électrons produits en excès seraient entraînés par le champ. Autrement dit la chute de potentiel à la surface de la cathode est nulle.

D'autre part, la vitesse des électrons au moment de leur émission par l'électrode radiante est faible en comparaison de la vitesse acquise finalement sous l'action du champ (1).

(1) La vitesse d'émission, étant comparable à la vitesse d'agitation d'une molécule gazeuse, serait de l'ordre de 10^4 alors que l'électron qui frappe l'anode peut atteindre, pour les grandes différences de potentiel, des vitesses qui se rapprochent de celle de la lumière, c'est-à-dire de l'ordre de 10^9 à 10^{10} cm : sec.

Par suite, l'énergie d'un électron à une distance x de la cathode, où le potentiel est V, sera

$$\frac{1}{2} m v^2 = eV,$$

e étant la charge d'un électron, v sa vitesse, V le potentiel compté à partir de la cathode.

L'application de l'équation de Poisson

$$\Delta V = -4\pi\rho,$$

donne ici

$$\frac{d^2V}{dx^2} = 4\pi\rho,$$

ρ étant la charge par unité de volume qui se trouve dans l'espace à la distance x de la cathode. Le signe (—) disparaît parce que e et x sont négatifs.

Enfin, l'intensité du courant par unité de surface sera.

$$i = \rho V.$$

De ces trois équations on tire, par élimination de v et de ρ,

$$\frac{d^2V}{dx^2} = 2\pi i \sqrt{\frac{2m}{e}}\, V^{-\frac{1}{2}}.$$

et en intégrant

$$(2)' \qquad i_s = \frac{\sqrt{2}}{9\pi}\sqrt{\frac{e}{m}}\,\frac{V^{3/2}}{d^2},$$

d étant la distance des électrodes.

Pour un fil fin tendu dans l'axe d'un cylindre de rayon r, un calcul analogue donne

$$(3) \qquad i_s = 2\,\frac{\sqrt{2}}{9}\sqrt{\frac{e}{m}}\,\frac{V^{3/2}}{r}.$$

Enfin, on démontre facilement que, dans tous les cas, l'intensité de saturation est proportionnelle à la puissance 3/2 de la différence de potentiel. Si k est une constante ne dépendant que de la conformation du système, on pourra écrire

$$(4) \qquad i_s = k V^{3/2}.$$

En remplaçant $\frac{e}{m}$ par sa valeur numérique, et si l'on exprime i_s en mA : cm² et V en volts, les relations deviennent pour l'équation (2)

$$(5) \qquad i_s = 2{,}33\ 10^{-3}\,\frac{V^{3/2}}{d^2},$$

et pour l'équation (3)

$$(6) \qquad i_s = 14{,}65\ 10^{-3}\,\frac{V^{3/2}}{r}.$$

Digitized by Google

Ces formules se vérifient très bien toutes les fois que le vide est maintenu d'une façon rigoureuse ; une légère trace de gaz peut influencer énormément les résultats, comme nous le verrons au paragraphe suivant. La figure 4 donne i_s en fonction de V. Le tableau II donne

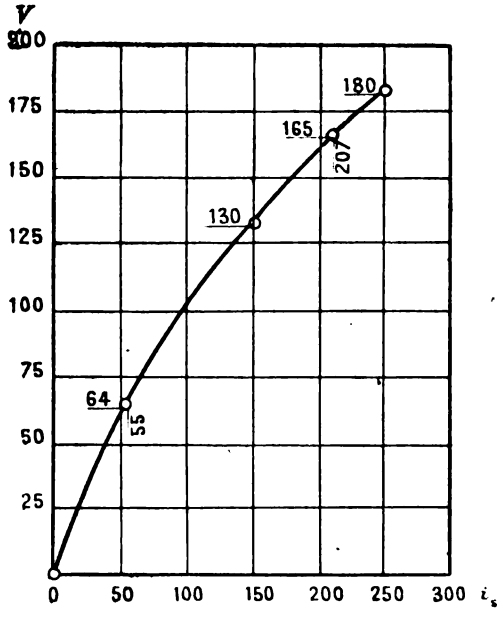


Fig. 4.

les chiffres trouvés et calculés par M. Dushman (*loc. cit.*) pour le cas d'un kénotron. Le calcul a été fait à partir de la formule

$$i_s = 103\ 10^{-3}\ V^{3/2}.$$

Les mesures ont été faites avec un oscillographe en enregistrant à la fois la courbe des intensités et celle des différences de potentiel en fonction du temps, la différence de potentiel étant alternative et d'une valeur maximum de 180 v. On voit que la concordance est excellente.

V	i_s calculé	i_s observé
64	55	53
130	150	153
165	207	212
180	250	251

Résumé. — *Courbe caractéristique de l'intensité en fonction de la différence de potentiel dans un appareil à « pure décharge d'électrons ».* — Nous possédons maintenant tous les éléments pour établir par le raisonnement cette courbe que l'on avait relevée expérimentalement depuis longtemps.

Nous venons donc de voir que, si on applique une différence de potentiel croissante entre deux électrodes dont l'une est chauffée de façon à émettre des électrons,

1° On constate tout d'abord que le courant croît avec la différence de potentiel appliquée suivant la loi de Langmuir

$$i_s = K V^{3/2}$$

K est une constante qui dépend des détails constructifs de l'appareil ;

V est la différence de potentiel appliquée ;

i_s le courant correspondant.

Ce mode de fonctionnement est représenté par la partie inférieure a b de la courbe de la figure 5. La différence de potentiel o c est la différence de potentiel critique ou de saturation, c'est-à-dire celle qui correspond au moment où la loi de la courbe va changer.

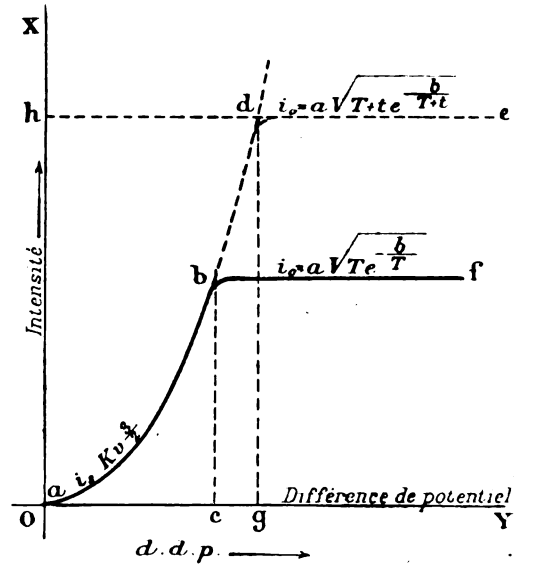


Fig. 5.

2° A partir de la différence de potentiel qui dépend des détails constructifs de l'appareil et de la température du filament, l'intensité reste constante quelle que soit la différence de potentiel ; la courbe devient rigoureusement perpendiculaire à l'axe des intensités. Cette intensité est donnée par la loi de Richardson et est égale à

$$i_0 = a\sqrt{T}\,e^{-\frac{b}{T}} \quad \text{par unité de surface,}$$

et

$$i = i_0 \times S \quad \text{pour toute la cathode.}$$

Les constantes a et b ont été définies précédemment et dépendent uniquement de la nature du métal, S est la surface de la cathode radiante.

Si l'on vient à changer la température de l'électrode chaude pendant l'expérience précédente, on constatera les résultats suivants :

1° Partie a b de la courbe. Les intensités correspondantes à chaque différence de potentiel ne seront pas changées, mais la branche ab croîtra jusqu'à d par exemple en suivant d'ailleurs toujours la loi de Langmuir, et la différence de potentiel de saturation passera de b en d.

2° Partie b f de la courbe. Il est évident que l'intensité croîtra puisque le terme T de la formule de Richar-

Digitized by Google

dson est augmenté, et qu'elle prendra la nouvelle valeur donnée par cette formule ; la branche horizontale de la courbe sera transportée en d e par exemple.

Si t représente l'accroissement de la température, la nouvelle intensité maximum sera

$$i_0 = a\sqrt{(T+t)e^{-\frac{b}{T+t}}}.$$

Influence de la pression sur les phénomènes précédents. — Les phénomènes que nous venons de décrire, remarquablement simples quand la pression est très basse, se compliquent énormément quand la pression s'élève. Comme nous l'avons déjà dit, ces phénomènes accessoires masquèrent longtemps le processus de la décharge électronique. Nous allons, en étudiant l'effet de la pression résiduelle, montrer la complexité de la question et l'effort que durent faire les pionniers de cette science pour en démêler l'écheveau.

Supposons qu'il reste dans le tube des traces de gaz assez importantes. Le libre parcours moyen va diminuer et le rapport entre la distance entre électrodes et ce libre parcours moyen va augmenter. Ce rapport caractérise essentiellement les probabilités d'un choc entre les électrons en mouvement entre les électrodes et les molécules gazeuses. Il en résulte que l'ionisation sera d'autant plus intense que le gaz aura une pression plus élevée, ce qui est évident à priori, mais aussi que cette ionisation croîtra avec la distance entre électrodes. Quand le phénomène est très marqué, on aperçoit à l'intérieur du tube des lueurs de couleur généralement caractéristiques de la nature du gaz, mais qui peuvent être facilement confondues avec une fluorescence de la paroi. Lorsque le phénomène est moins intense, les manifestations lumineuses disparaissent, mais l'ionisation se manifeste indirectement par des effets que nous allons étudier.

Augmentation du pouvoir de conduction. — Si la pression est encore notable quoique suffisamment faible, les ions négatifs qui résultent de la dissociation des molécules par le choc des électrons s'en vont avec les électrons vers l'anode et ne semblent pas jouer de rôle spécial. Mais les ions positifs, arrivés au voisinage de la cathode, y neutralisent en partie les électrons accumulés. Aussitôt, l'émission par le filament augmente; les électrons étant en plus grand nombre, le nombre des molécules ionisées augmente aussi et ainsi de suite. Le phénomène se renforce de lui-même et l'on conçoit qu'une quantité très faible de gaz puisse faire croître le courant électronique dans des proportions énormes par suite de l'ionisation par choc. L'expérience vérifie ces déductions; ainsi dans une expérience faite à la General Electric Co, il passait dans l'appareil un courant de 100 milliampères sous 200 v; après introduction de vapeur de mercure sous la pression de 10^{-5} mm de mercure seulement, il a suffi de 25 v pour obtenir le même courant.

Rayons δ. — Si la différence de potentiel est très grande, indépendamment du phénomène précédent, les ions positifs bombardent la cathode et ses supports avec une énergie suffisante pour provoquer une émission complémentaire d'électrons. Ce phénomène est en tous points comparable à celui qui se produit dans les tubes à rayons X ordinaires, où l'impact des rayons positifs qui constituent l'afflux cathodique provoque l'émission du faisceau cathodique.

Les nouveaux électrons ainsi émis constituent donc de véritables rayons cathodiques; ils sont émis avec une vitesse initiale considérable et se propagent en ligne droite à partir des points d'émission. La position de ces points est d'ailleurs mal déterminée, elle est le plus souvent instable.

Dans un vide théoriquement parfait, aucune fluorescence ne se manifesterait lorsque ces rayons frappent le verre, puisque la paroi serait entièrement chargée négativement et repousserait par conséquent les faisceaux cathodiques qui tendraient à provoquer la fluorescence. Mais, même dans les vides les plus élevés que l'on sait actuellement produire, les traces de gaz restantes peuvent s'ioniser et venir en certains points neutraliser la charge négative de la paroi, des faisceaux cathodiques pourront alors frapper ces régions et y produire une fluorescence ; l'intensité de ces effets dépend beaucoup plus de la forme des électrodes et de leur distance aux parois, que de la pression dans l'appareil; il est donc absolument illusoire de tirer aucune conclusion sur la pression régnante par l'examen des fluorescences.

Quand le vide est suffisant, ces fluorescences n'ont aucun inconvénient, mais quand les gaz atteignent une pression plus grande, quoique encore très faible, les pinceaux cathodiques peuvent avoir une énergie assez grande pour échauffer le verre, ce qui peut amener des fêlures, ou même le ramollir ce qui produit un percement par enfoncement de la paroi sous l'action de la pression atmosphérique.

Action des gaz sur la cathode incandescente. — Un autre effet de la présence de gaz est la désagrégation de filament, les ions positifs frappant la cathode avec une très grande vitesse, la désagrègent jusqu'à sa destruction complète.

La surface du métal prend alors un aspect caractéristique, tout en restant brillante; elle présente une multitude de petits cratères. Il résulte de tout cela pour les appareils à haute tension la nécessité de réaliser des vides extrêmes.

Quand un métal est ainsi bombardé par des ions positifs, il semble qu'il peut se produire des réactions chimiques qui ne se produiraient pas avec le gaz non ionisé placé dans les mêmes conditions. Ces réactions peuvent entraîner une pulvérisation du métal, qui vient se déposer sur les parois du ballon, peut être en partie à l'état de combinaison. Ce fait est bien connu, il a même été utilisé pratiquement par M. Houllevigue pour obtenir des dépôts métalliques et l'on sait que la nature du gaz influe sur ces phénomènes. Langmuir a spécialement étudié le cas de l'azote agissant sur le tungstène :

Digitized by Google

nous renvoyons le lecteur aux mémoires originaux (1). Cette action a lieu même à la température ordinaire, elle est grandement facilitée par la haute température de l'électrode.

Nous avons déjà vu plus haut comment ce phénomène intervient dans les lampes à incandescence à filament de tungstène et comment l'absorption de gaz ainsi réalisée peut améliorer considérablement le vide, à condition bien entendu que la température du support du dépôt métallique ne s'élève jamais assez pour provoquer de nouveaux dégagements de gaz.

La présence d'un gaz semble influer sur le pouvoir d'émission de la cathode incandescente. Ainsi une trace d'hydrogène semble augmenter l'émission thermo-électronique du platine; par contre, il suffit d'une trace infime d'oxygène ou d'un composé gazeux d'oxygène, la vapeur d'eau en particulier, pour réduire dans une proportion énorme l'émission thermo-électronique de toutes sortes de cathodes et, en particulier, du tungstène. La plupart des gaz semblent d'ailleurs produire le même résultat sur ce métal.

Ce dernier effet, nuisible en général, a pourtant un rôle utile dans certains cas. C'est ainsi que dans un modèle particulier de tube Coolidge, il intervient précisément pour empêcher presque complètement l'émission de l'anticathode incandescente, et conserver ainsi au tube ses précieuses propriétés asymétriques (2).

Résumé : En résumé, la présence d'un gaz influe considérablement sur le phénomène d'émission thermo-électronique. Par suite d'ionisation, de dégagements, d'occlusion, d'actions de présence, l'émission par le filament, la pression et l'état d'ionisation du gaz varient d'une façon capricieuse et irrégulière, au point que l'émission électronique proprement dite peut s'en trouver masquée, si bien que beaucoup de savants ont été jusqu'à en nier l'existence.

Cette étude montre avec quel soin ces appareils doivent être vidés si l'on veut faire disparaître toutes ces actions parasites et assurer au fonctionnement une durée irréprochable. Disons de suite à ce sujet que « la vie » de ces appareils n'est limitée que par la durée de leur cathode incandescente, constituée pratiquement par un filament de tungstène; I. Langmuir a vérifié expérimentalement que l'émission électronique dans un vide élevé n'impose aucune usure particulière à la cathode, on peut donc pratiquement compter sur une « vie » de l'ordre de grandeur de celle des lampes à incandescence utilisant un filament équivalent à la même température.

Mais ce qui paraît un grave inconvénient, se retourne en avantage entre des mains habiles, nous venons déjà d'en voir une application (tube Coolidge à radiateur, effet de l'oxygène), nous allons en montrer une autre. La facilité avec laquelle la moindre trace de gaz masque la décharge électronique normale est un précieux moyen de dépister la présence de gaz à une pression trop élevée. Si l'on cherche à établir expérimentalement la courbe (fig. 5) établie théoriquement, on n'obtiendra une courbe superposable que si le vide est excellent. Dans le cas contraire des bosses, des irrégularités, montreraient que l'on n'a pas affaire à un gaz ultra raréfié, c'est-à-dire dont les molécules ont un libre parcours très grand par rapport aux dimensions de l'appareil.

Pour des vides plus mauvais, ce moyen ne sera même pas utile, le simple examen de l'appareil en marche montrera à un observateur entraîné de très légers pinceaux cathodiques plus ou moins stables; à une pression encore plus grande, on observera des lueurs de plus en plus visibles à l'intérieur de l'appareil.

Conclusion. — Nous voici arrivés au terme de l'étude des phénomènes généraux des redresseurs à vide élevé et cathode incandescente. Nous avons vu l'importance extrême d'une pression très basse, pour la conservation de la cathode et le fonctionnement normal de l'appareil. Il nous reste maintenant à aborder les problèmes pratiques, et notamment la constitution mécanique de ces redresseurs.

(*A suivre.*)

G. Johannès,
Ingénieur E. B. P., Chef du service technique de la Société des établissements H. Pilon.

Revues, analyses et informations

Utilisation de courants triphasés pour la production du courant monophasé (3).

Généralités. — Les distributions de courants alternatifs se font fréquemment sous forme de courants triphasés. Ceci est dû aux nombreux avantages du système triphasé, en ce qui concerne la production et la distribution. Nous ne reviendrons pas sur ces avantages, suffisamment connus. Si le courant triphasé convient aussi au consommateur, on lui préfère le courant monophasé pour certaines applications : entre autres pour la traction et pour les fours électriques à acier.

La traction monophasée présente les avantages suivants : simplicité, économie de fils de trolleys.

Les fours électriques monophasés sont plus réduits que les fours triphasés, ils offrent moins de surface au refroidissement ; les électrodes étant au nombre de deux, on peut les disposer suivant un diamètre du four ; leur distance à travers les parois du four est plus grande que dans le four triphasé ; l'isolement est donc meilleur ; l'économie

(1) Langmuir. *Phys. Review* (*loc. cit.*).
(2) Voir le tube Coolidge à radiateur, par H. Pilon. *R. G. E.*, 1918, t. IV, p. 99.
(3) *The Institution of Electrical Engineers*. Communication du professeur Walker.

Digitized by Google

dans la consommation des électrodes est aussi très sensible.

Ces avantages entraînent une demande de courant monophasé qui va en croissant, tandis que la production du courant triphasé augmente de plus en plus. Il existe heureusement différentes méthodes de production du courant monophasé en utilisant les réseaux triphasés.

Nous ne nous étendrons pas sur le cas assez rare des centrales triphasées qui possèdent un groupe à vapeur monophasé et une distribution spécialement affectée à un service de traction monophasée. En dehors de ce cas, nous comptons quatre méthodes industrielles :

I. — Générateurs triphasés munis d'amortisseurs.

II. — Groupes moteurs-générateurs.

III. — Une phase du système triphasé fournit le monophasé et les autres phases sont équilibrées par des compensateurs.

IV. — Transformateur rotatif compensateur muni de deux enroulements dont l'un absorbe le courant triphasé du réseau et dont l'autre fournit du courant monophasé.

I. — **Générateurs triphasés munis d'amortisseurs.** — Les charges monophasées du réseau peuvent être divisées approximativement en trois parties et réparties sur les trois ponts. L'équilibrage ainsi obtenu est souvent satisfaisant, surtout si le générateur est muni d'un amortisseur. — On a calculé et vérifié par des essais quelle était la variation subie par la tension d'un générateur triphasé quand on le chargeait sur une seule phase ; si cette charge monophasée n'excède pas 20 pour 100 de la charge normale triphasée, il n'en résulte qu'un faible trouble dans la tension même avec mauvais facteur de puissance. L'auteur de l'étude cite le cas de fours monophasés de 400 kw branchés sur un réseau triphasé à Bradford ; les tensions de ce réseau ne sont pas déséquilibrées notablement.

II. — **Groupes moteurs-générateurs.** — Les Compagnies de distribution s'opposent quelquefois au montage ci-dessus. On peut alors avoir recours à un groupe moteur-générateur. Il est composé d'un moteur asynchrone ou synchrone triphasé directement manchonné à un générateur monophasé. Les avantages présentés par ce système sont multiples : pour le consommateur, facilité de réglage de la tension monophasée ; pour l'exploitant : amélioration du facteur de puissance, réduction des à-coups. Les inconvénients sont : le prix élevé d'installation ; la nécessité, pour l'excitation du groupe, de disposer d'une source à courant continu ; le faible rendement du groupe. L'auteur donne le rendement d'un groupe de 500 kv-a construit pour l'application ci-dessus, il n'atteint que 85 pour 100.

III. — **Emploi des compensateurs.** — Pour obtenir un meilleur rendement qu'avec les groupes du paragraphe 2, on peut prendre le courant monophasé sur une phase du système triphasé et équilibrer les autres phases avec un compensateur.

Ce compensateur peut être statique : bobines de réactance ou condensateurs ; il peut être rotatif : synchrone ou asynchrone.

Il est nécessaire de distinguer entre le déséquilibrage des courants et celui des tensions, et de définir s'il porte sur les amplitudes ou sur les angles de phase. La compensation est complète quand les amplitudes et les phases sont parfaitement équilibrées.

Compensateurs statiques. — L'addition d'une charge réactive peut donner dans certains cas une compensation complète. La figure 1 montre le montage adopté à cet effet par l'auteur.

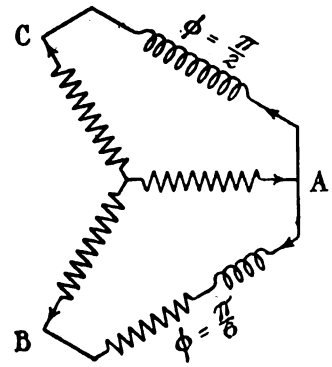


Fig. 1.

A B C est un système triphasé chargé en monophasé sur A B avec un déphasage $\varphi = \frac{\pi}{6}$. La figure 2 donne la disposition des vecteurs, OE_a, OE_b, OE_c sont les tensions triphasées, I_{ab}, le courant monophasé. Quand on ajoute la self-induction dans la branche CA, elle est parcourue par un courant I_{ca}, de facteur de puissance défini par $\varphi = \frac{\pi}{2}$. Le courant émis par A est désigné par I_a, il est la somme de I_{ab} et I_{ac}, la figure 2 montre que I_{ab}, (émis par A), I_{ba} (émis par B) I_{ca}, (émis par C) sont en équilibre de phases et d'amplitude. La compensation est complète.

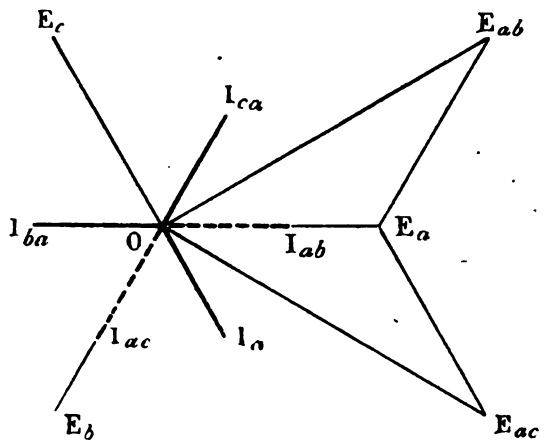


Fig. 2.

L'auteur donne d'autres exemples dans lesquels la bobine de réactance équilibre incomplètement le système triphasé. L'addition des bobines de self-induction a l'inconvénient d'accroître la charge réactive du système ; on peut les remplacer par des condensateurs qui jouent le même rôle de compensateurs tout en améliorant le facteur de puissance du réseau. Toutefois, si les condensateurs sont laissés en service quand la charge monophasée disparaît, ils produisent à leur tour un déséquilibrage. Il faudrait leur adjoindre une sorte de contacteur automatique qui mettrait en service plus ou moins de capacité suivant la variation de charge monophasée.

Compensateurs rotatifs. — Un moteur ou un générateur triphasé symétrique ayant une faible impédance d'armature

Digitized by Google

tendra à équilibrer les tensions d'un système déséquilibré. Les courants inégaux fournis par ces machines multipliés par les impédances de leurs circuits d'armatures respectifs donnent des chutes de tensions inégales qui représentent les différences entre les tensions de la ligne et celles du moteur ou du générateur. Si l'impédance de l'armature est faible, ces différences seront faibles et le système sera pratiquement équilibré.

Si l'impédance d armature n'est pas négligeable, il est possible d'obtenir l'équilibrage en reliant en série avec le compensateur des survolteurs qui corrigent les chutes de tension. La classification suivante des compensateurs rotatifs repose sur le genre de survolteurs employés :

a) *Compensateurs à enroulements dyssymétriques* ;

b) *Transformateurs survolteurs en série avec les enroulements* ;

c) *Addition de bobines de réactance dans une des phases* ;

d) *Survolteur générateur en série avec l'enroulement* ;

e) *Production d'un flux magnétique tournant en sens opposé avec une fréquence double.*

Tous ces compensateurs peuvent être synchrones ou asynchrones.

a) *Compensateur à enroulements dyssymétriques.* — La figure 3 montre le montage adopté. A, B, C, est le réseau

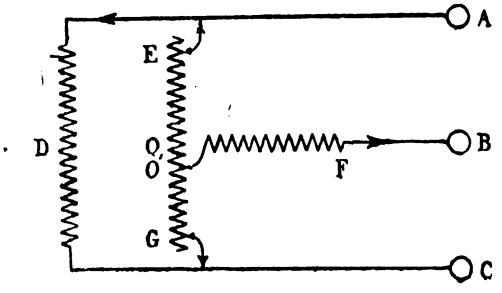


Fig. 3.

triphasé ; D le récepteur monophasé. Le compensateur E F G dans cette figure est une machine biphasée synchrone ou asynchrone.

OE et OG forment ensemble 1 phase, l'autre phase étant F. Le nombre de tours de F est réglé pour donner des tensions triphasées symétriques.

L'extrémité intérieure de F (point neutre) peut être reliée à différentes prises placées sur EG pour produire la dyssymétrie. Des prises mobiles peuvent aussi être placées vers E et vers G. Si F est connecté en O au milieu de EG et que le compensateur soit synchrone avec un facteur de puissance égal à 1 unité, nous avons vu plus haut que, l'impédance de ABC étant petite, le système triphasé reste équilibré et le compensateur tourne, prenant seulement un faible courant synchronisant.

Mais, en réalité les générateurs ont une impédance appréciable, la tension AC baisse ; EG a une tendance à fournir du courant à D et l'enroulement F agit comme enroulement moteur. Si on déplace le point neutre en O' (fig. 3), on obtient un effet d'équilibrage qui rétablit le système triphasé. Le diagramme des vecteurs est indiqué sur la figure 4. Oe Og et O'f sont les tensions aux bornes du compensateur en charge ; les forces électromotrices étant Om_e et Om_g et Om_f légèrement en avance de phase. L'enroulement F agissant en moteur, la chute de tension sera $m_f h$. A vide la tension produite par F sera O'f. A pleine charge elle sera O'm_f et la tension aux bornes O'h. Si grâce à la prise mobile OO' = fh, on arrive à faire tomber les points e, h et g sur les sommets d'un triangle équilatéral, les phases et les

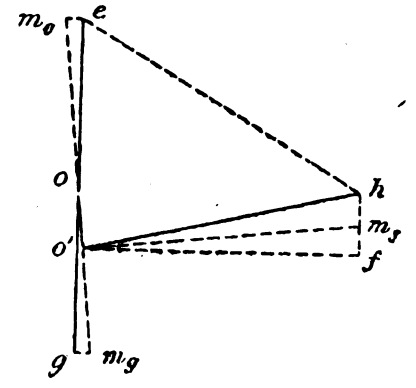


Fig. 4.

tensions sont équilibrées. En pratique on complète l'équilibrage par les prises mobiles E et G.

b) *Transformateurs survolteurs en série avec les enroulements.* — Le montage employé est indiqué sur la figure 5 et le diagramme des vecteurs de la figure 6 indique l'artifice du système : OV_a est la tension à la borne A mesurée du point neutre de la génératrice. V_P, V_Q, V_R sont les tensions prises entre C — A, A — B, B — C respectivement. OI_D représente le courant dans le récepteur monophasé D. I_a, I_b, I_c sont les trois courants équilibrés par le compensateur et émis par A, B, C.

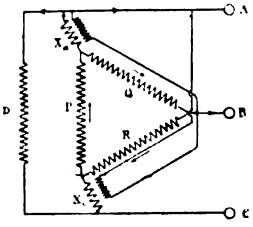


Fig. 5.

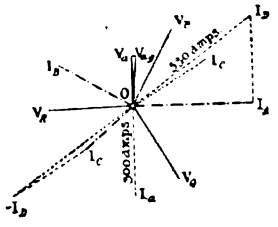


Fig. 6.

Quant aux courants pris par le compensateur, ils sont figurés en amplitude et en phase par I_A ; I_B et I_C :

I_A étant la somme de I_D et de I_a ;

I_C étant la différence entre I_c et I_D ;

L'auteur termine l'étude de ce procédé par le tracé du diagramme des chutes ohmiques de tension et des chutes dues à l'impédance, en montrant que ces chutes sont contrebalancées par la tension du transformateur survolteur combinée avec la tension de synchronisation. L'auteur décrit encore un autre montage basé sur le même principe. Un compensateur de ce genre atteint un rendement de 93 pour 100 contre 87 pour 100 pour un moteur générateur. Le prix de premier établissement n'est que 65 pour 100 de celui d'un groupe moteur générateur.

c) *Addition de bobines de self-induction ou de condensateurs dans une des phases.* — La méthode (b) ci-dessus, en équilibrant les tensions aux bornes n'équilibre pas les tensions mesurées aux bornes du compensateur. On peut y parvenir avec des bobines de réactance ou des condensateurs placés dans une des phases. Le principe des méthodes employées peut se résumer à cet exemple : on s'est proposé

Digitized by Google

d'équilibrer les tensions aux bornes d'un moteur triphasé de locomotive alimenté par un fil de trolley d'une source monophasée. La figure 7 donne le schéma. T est le transformateur monophasé; A B C est un compensateur rotatif diphasé (synchrone ou asynchrone); XY une bobine de self-induction spéciale avec deux enroulements placés en série avec les lignes L_a et L_c. La ligne L_b est branchée au milieu du secondaire de T et elle passe dans une des phases d'un compensateur diphasé et ensuite au moteur triphasé M. L'autre phase du compensateur est branchée entre A et C. Trois cas peuvent se présenter :

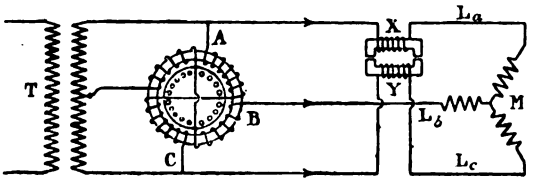


Fig. 7.

α) La charge triphasée est constituée par des machines équilibrées ayant une très faible impédance;

β) La charge est constituée par des résistances;

γ) La charge est constituée par des machines de forte impédance.

Dans le cas (α) il n'est pas nécessaire d'avoir un compensateur.

Dans le cas (β), si le compensateur n'est pas branché, il ne passe pas de courant dans la ligne L_b et on a une simple charge monophasée entre L_a et L_c. Si un compensateur est branché suivant la figure 7, la position des vecteurs des tensions est donnée par la figure 8.

Le compensateur synchrone prend un petit courant synchronisant en phase avec Oa et Oc. La tension engendrée en B est à angle droit avec la tension produite en A. A vide la position du flux se confond avec Oa.

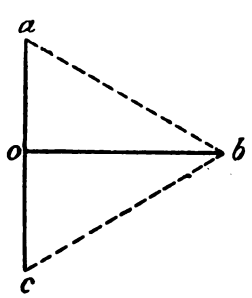


Fig. 8.

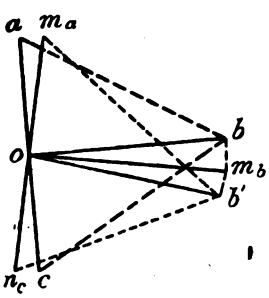


Fig. 9.

Quand la charge augmente, B devient générateur et le flux prend la position Om_a (fig. 9). Les phases A et C agissent en moteur. La tension engendrée en B prend la position Om_b.

Les enroulements A et C agissent en moteur; la tension aux bornes A et C est Oa et Oc; et en B : Ob'.

Ce déplacement du vecteur Ob' dans le cas d'une charge sur résistances n'a pas beaucoup d'effet sur les charges prises par chaque phase parce qu'elles sont réglées par la résistance en circuit; mais si la charge est constituée par une machine (cas γ), le compensateur ne prendra pas beaucoup de charge.

Quand on place en circuit la bobine XY on enroule les circuits pour qu'ils donnent des forces magnétomotrices opposées comme l'indiquent les flèches (fig. 8). Quand les tensions sont équilibrées au récepteur, les trois résistances donnent des courants égaux décalés de 120°; ils sont représentés par I_a, I_b, I_c (fig. 10), leur point neutre étant O';

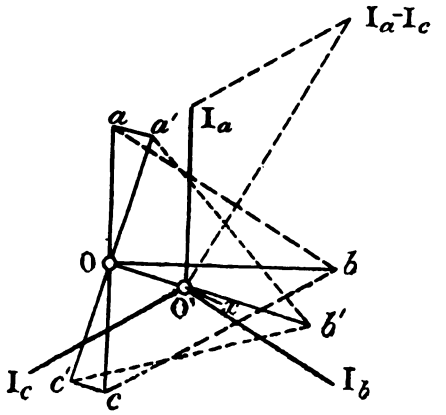


Fig. 10.

$I_a - I_c$ donne la position du flux résultant dans la bobine; la tension produite par ce flux est à angle droit soit O' x = a a' = c c'. En ajoutant O' x à O a on obtient Oa' et en retranchant O' x de O c on obtient O c'. Les tensions entre les bornes de la résistance a' b', b' c' et c' a' sont alors parfaitement équilibrées.

Quand la charge triphasée est une machine rotative, on n'obtient qu'une correction grossière; mais par un arrangement convenable de condensateurs et de réactances, on peut arriver à une correction suffisante pour la pratique.

d) *Générateur survolteur en série avec les enroulements du compensateur.* — Au lieu d'employer des transformateurs survolteurs en série avec les différentes phases, on peut employer un survolteur synchrone. Le règlage s'opère plus aisément. La figure 11 montre la disposition adoptée.

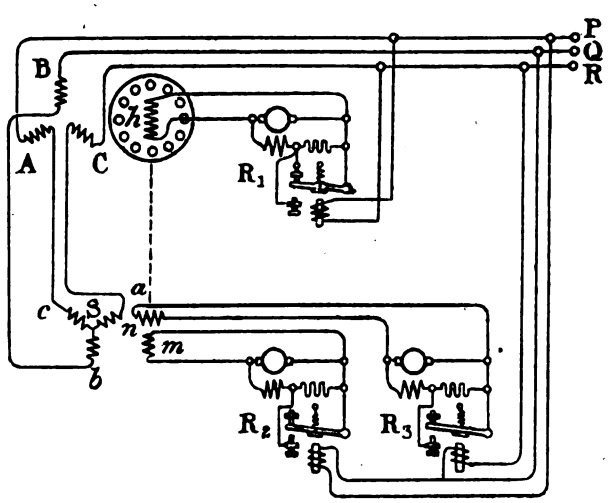


Fig. 11.

Le réseau triphasé est PQR. Le compensateur synchrone ABC. Une charge monophasée étant connectée entre P et R, le compensateur fournit du courant par les phases A et C, et reçoit du courant comme moteur dans la phase B. Ces courants sont réglés par un survolteur synchrone dont le stator est figuré en a, b, c. Les inducteurs du compensateur et ceux du survolteur sont clavetés sur le même arbre et

Digitized by Google

tournent au synchronisme avec le réseau. L'inducteur du compensateur est excité par l'enroulement h, alimenté par une excitatrice réglée par un Tirrill R_1. L'inducteur du survolteur possède deux enroulements m et n analogues à un rotor diphasé. Le courant continu qui les alimente est réglé par R_2 et R_3.

La figure 12 est le diagramme des tensions; les tensions

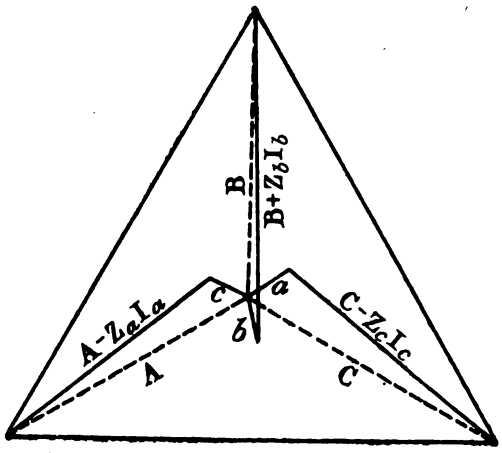


Fig. 12.

a b, c, du survolteur sont en série avec les tensions du compensateur *C, B, A* respectivement; de cette façon A et C se chargent en génératrices et B en motrice. Quand A et C sont ainsi chargées avec un faible facteur de puissance, les tensions aux bornes sont décalées et réduites par les chutes dues aux impédances : soient ces chutes $Z_a I_a$ et $Z_c I_c$ (fig. 12); mais les phases et amplitudes des tensions *c* et *a* du survolteur sont telles qu'elles rétablissent l'équilibre. Pour la phase B, motrice, la tension aux bornes s'accroît : $B \times Z_b I_b$, mais la tension *b* du survolteur se retranche grâce au sens des connexions et l'équilibre est rétabli.

e) *Production d'un champ magnétique tournant en sens opposé, à fréquence double.* — Cette méthode repose sur le fait qu'une charge non équilibrée dans un stator polyphasé produit un flux magnétique tournant en sens inverse dans le rotor; et que, réciproquement, un flux magnétique tournant en sens contraire produit une charge déséquilibrée dans le stator. On peut donc faire un compensateur pour un système polyphasé en utilisant un moteur synchrone muni d'un enroulement spécial sur le rotor qui peut être parcouru par un courant produisant le flux magnétique tournant en sens inverse. Ce courant (à double fréquence) peut être engendré par un alternateur ayant deux fois plus de pôles que la machine principale, son induit étant branché directement au rotor du compensateur et de façon que le flux tournant soit dirigé dans le sens voulu. On règle en agissant sur l'alternateur auxiliaire. On peut encore produire le champ tournant en sens inverse de la façon suivante : le générateur auxiliaire a le même nombre de pôles que le compensateur et est entraîné à la même vitesse, mais les pôles sont alimentés par un courant triphasé de même fréquence que le réseau; ces courants triphasés, qui peuvent être en série avec la charge, produisent un flux magnétique tournant en direction opposée à la direction de rotation de l'armature. Il se produit alors un courant de fréquence double dans l'enroulement du rotor du compensateur qui est proportionnel à la charge triphasée. Ce système, dans la pratique, est peu commun. On lui préfère le suivant :

V. — **Transformateur rotatif compensateur.** — Ces machines absorbent l'énergie triphasée dans un enroulement et fournissent une charge monophasée à l'aide d'un enroulement indépendant. Elles conviennent très bien pour l'alimentation des fours électriques monophasés.

Il y a avantage à utiliser une machine spéciale faisant fonction : 1° de transformateur de tension; 2° de compensateur; 3° de réactance; 4° de correcteur du facteur de puissance. Ceci peut être réalisé par un groupe moteur-générateur, mais son prix est supérieur à celui d'un compensateur de même puissance et le rendement est moins bon.

Pour limiter le courant de court-circuit dans un four monophasé, il faut que le circuit monophasé qui l'alimente présente une forte réactance. Le fonctionnement idéal est réalisé quand le courant de pleine charge est décalé de 45° sur la tension monophasée d'alimentation. Nous indiquons plus loin comment cela peut s'obtenir. Dans ce cas le courant de court-circuit ne peut dépasser 1,41 fois le courant normal et on est certain de la stabilité du four, en même temps que l'on garantit le réseau contre les à-coups. Pour obtenir ces conditions d'un compensateur à enroulement monophasé indépendant, tout en faisant fonctionner l'enroulement triphasé au facteur de puissance unité, on peut le construire comme l'indique la figure 13. L'enroulement

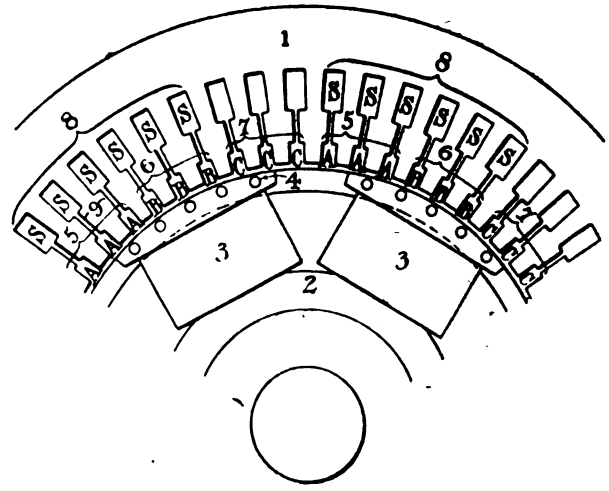


Fig. 13.

triphasé est identique à celui d'un moteur synchrone; ses encoches se trouvant placées en A, B, C, le plus près des pôles (fig. 13). L'enroulement monophasé au contraire est logé dans les encoches S. A pleine charge, il se produit des fuites magnétiques considérables entre les deux enroulements.

La machine fonctionne comme un transformateur à fortes fuites. La réactance de la machine, ajoutée à celle du four, produit un décalage suffisant pour limiter le courant de court-circuit.

Des machines ont été réalisées sur ce principe; la figure 14 donne un détail de construction; on remarquera que les encoches sont réunies par une petite entaille de 4,5 mm de large qui aide encore à augmenter les fuites magnétiques.

Enroulement compensateur. — Il y a lieu de signaler un dispositif particulier à ce type de compensateur; c'est l'adjonction d'un enroulement compensateur destiné à produire une faible tension en opposition avec celles des deux

Digitized by Google

phases A et B pour éviter que ces phases soient surchargées par rapport à C.

En effet, quand l'enroulement monophasé S est chargé, le couplage magnétique entre S et A et B est plus serré qu'entre S et C (fig. 13) et A et B ont une tendance à se surcharger, l'excès de courant pris par ces phases étant exactement en opposition de phase avec le courant monophasé.

L'enroulement compensateur produit une force électromotrice qui est à chaque instant exactement égale et opposée à la force électromotrice produite dans l'enroulement triphasé par la force magnétomotrice monophasée. La figure 15 indique comment est réalisé l'enroulement compensateur.

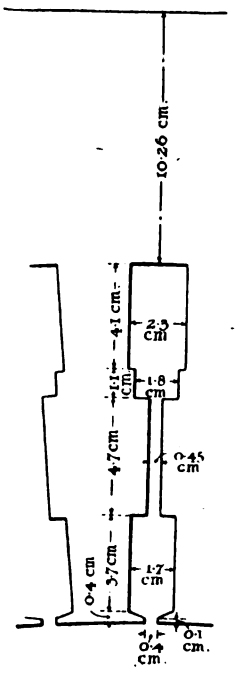


Fig. 14.

Prises variables sur l'enroulement triphasé. — Pour régler après construction, on avait prévu sur les premières machines des prises mobiles vers le point neutre de l'enroulement triphasé. Les essais ont montré qu'une légère dyssymétrie comme l'indique la figure 16 donne d'excellents résultats. L'effet de cette dyssymétrie a déjà été envisagé au paragraphe III. Ceci a l'inconvénient de produire un léger

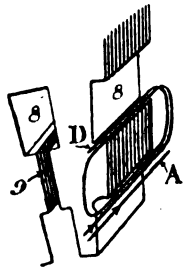


Fig. 15.

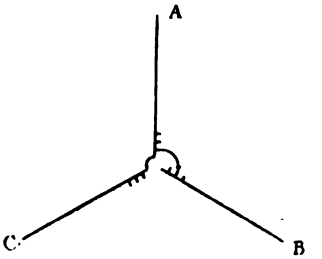


Fig. 16.

déséquilibre à vide, mais cet inconvénient peut être corrigé par un réglage de l'enroulement compensateur.

Amortisseur. — L'inducteur de la machine est muni d'un amortisseur constitué par des barres de cuivre placées dans des encoches pratiquées dans les pôles (fig. 13). Ces barres sont soudées ensemble pour former une cage d'écureuil. Les encoches des pôles sont obliques, cet artifice réduisant l'échauffement dans l'amortisseur à pleine charge et l'annulant à vide. Quand cette précaution n'est pas prise, on a une perte considérable dans l'amortisseur par suite de l'action des dents du stator. G. B.

Branchement des gros moteurs à courant continu sans résistances de démarrage (1).

L'auteur discute l'opportunité du branchement des moteurs à courant continu sans résistances de démarrage. Il constate que l'usage ne s'en est pas répandu et qu'on ne l'emploie jusqu'ici que dans des cas tout à fait spéciaux. Il signale que la valeur du courant initial n'est cependant pas, en pratique, égale à la valeur $\frac{E}{R}$ obtenue en divisant la tension d'alimentation par la résistance totale du circuit. En réalité la self-induction et le moment d'inertie de l'induit interviennent : ainsi, pour un moteur de 215 kw à 240 v et 350 t : min, on a trouvé, en le branchant d'abord sous 110 v, une intensité inférieure de 23 pour 100 à l'intensité théorique, et, en le branchant sous 240 v, une intensité inférieure de 14 pour 100. La valeur de la surintensité est fonction de la chute de tension dans l'induit, laquelle est en moyenne de 5 pour 100 pour les moteurs de 50 kw, 3,5 pour 100 pour ceux de 100 kw, 2,5 pour 100 pour ceux de 300 kw. Par suite, la surintensité théorique d'un moteur de 50 kw serait de 2000 pour 100, et la surintensité pratique de 1 400 pour 100 environ. Cette valeur est prohibitive.

Pour vérifier ces vues théoriques, l'auteur a fait une série d'expériences dont il donne les résultats, avec relevés oscillographiques à l'appui. La première concerne un moteur de 60 kw à 440 v alimenté par une dynamo de 1 000 kw. La résistance totale du circuit était de 0,155 ohms. La dynamo était réglée à des tensions variables, et le moteur branché très brutalement. On a obtenu les intensités suivantes : sous 220 v, 772 a et pas d'étincelles ; sous 300 v, 1130 a et quelques étincelles sans danger pour le collecteur ; sous 370 v, 1530 a et de fortes étincelles ; sous 440 v, 2050 a, le moteur se renversa.

La deuxième expérience avait pour but de déterminer l'influence de l'inertie des masses à mettre en mouvement. On employa la même machine, en diminuant la résistance du circuit extérieur de façon à la porter à 0,01 ohm exactement, soit moins de 10 pour 100 de celle du moteur lui-même. On brancha alors le moteur sous 220 v directement. On obtint une pointe de 855 a.

En accouplant l'induit à un induit identique, la pointe fut de 1050 a. En accouplant ensuite l'induit à une masse ayant un PD^2 cinquante fois plus grand que le sien propre, la pointe monta à 1420 a, intensité encore inférieure de 15 pour 100 à la valeur théorique du courant de court-circuit. Cette diminution, par rapport à la valeur théorique, est due sans doute à l'augmentation de la résistance des balais pour cette très forte intensité. Cette pointe est d'ailleurs accompagnée d'étincelles au collecteur très violentes et prolongées, car la pointe dure un certain temps, comme le montrent les trois oscillogrammes de la figure 1 qui se rapportent aux trois cas précités, et dont seul le premier peut être considéré comme acceptable en pratique.

D'autres expériences furent entreprises en accouplant le moteur à une dynamo de même puissance dont on faisait varier la charge. La dynamo étant à circuit ouvert, la pointe était de 1050 a. Elle montait à 1060 a lorsque le couple au démarrage était le tiers du couple normal, et à 1065 a, lorsqu'il atteignait les 5/6 du couple normal. Le diagramme de la figure 2 montre deux courbes obtenues l'une à vide et l'autre en charge normale. En ce qui concerne les étincelles aux balais, l'auteur attribue leur faiblesse relative, même pour de fortes surintensités, au fait que l'induit tourne encore très lentement au moment où la pointe passe par son maximum. La conclusion de cette étude est qu'on ne doit admettre en fonctionnement normal que des pointes très courtes et ne dépassant pas quatre fois l'intensité normale.

L'auteur recommande enfin la méthode qui consiste, pour éviter à la fois l'emploi coûteux des résistances de démar-

(1) W. Linke. *E. T. Z.*, 14 et 21 novembre 1918, t. xxxix, p. 453-et 465, 3500 mots, 26 fig.

Digitized by Google

rage et les inconvénients des trop grandes surintensités, à brancher directement le moteur d'abord sur la moitié de sa tension normale, puis, au bout d'un temps à déterminer, sur la tension totale. Il décrit les essais qu'il a faits de

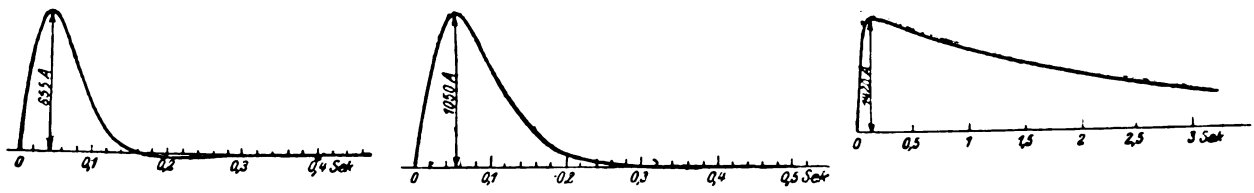


Fig. 1.

cette méthode. L'oscillogramme de la figure 3 a été obtenu ainsi ; il correspond au cas cité plus haut, pour lequel le

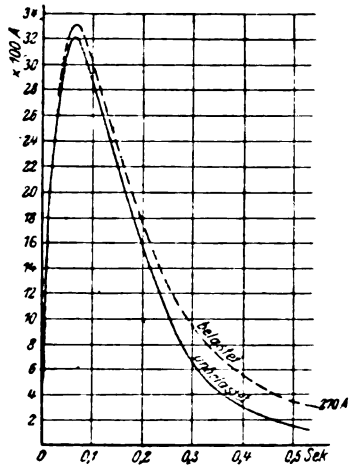


Fig. 2.

moteur, branché directement sur 440 v s'était renversé; on voit que la surintensité est tombée de 2050 A à 225 A seulement, grâce à l'intercalation d'une seule résistance de 1,55 ohm.

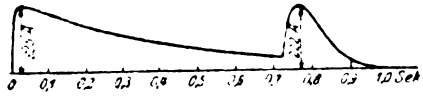


Fig. 3.

Les deux diagrammes de la figure 4 se rapportent à un

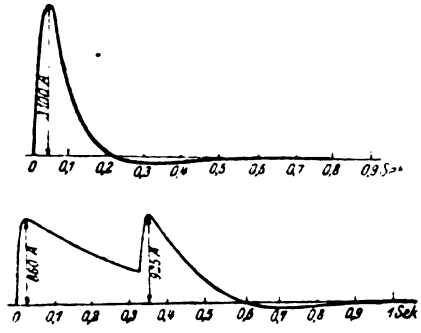


Fig. 4.

moteur de 208 kw, tournant à 200 t : min avec un PD² de 600 kg-m² : le premier diagramme correspond au branchement direct sur 220 v, le second au branchement sous 110 v directs puis sous 220 v par l'intermédiaire d'une résistance de 0,2 ohms constituée par une spirale de fonte pesant seulement 4,9 kg et grande comme une boîte de cigares. Cette résistance absorbait, pendant toute la durée de la pointe (0,6 seconde environ) 27,4 kw-h, soit 6,5 calories, correspondant à une élévation de température de 12°. En répétant le démarrage quinze fois de suite à 30 secondes d'intervalle, on a obtenu pour la résistance une température de 120° que le rayonnement limite automatiquement.

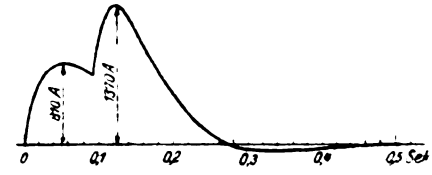


Fig. 5.

La figure 5 se rapporte au même moteur lorsqu'il est branché directement sous 150 v au moyen d'un interrupteur

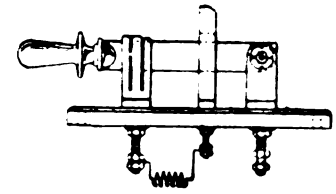


Fig. 6.

comportant une résistance intermédiaire de 0,1 ohm (fig. 6) manié aussi rapidement que possible.

Enfin la figure 7 se rapporte à une commutatrice de

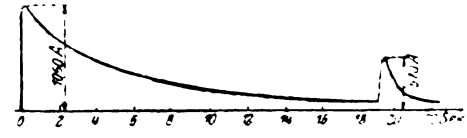


Fig. 7.

750 kw à 500 v continus, n'ayant qu'une chute de tension de 8,5 v à pleine charge, branchée directement à 500 v par l'intermédiaire d'une résistance de 0,43 ohms. La pointe de courant n'est que de 1 060 A, soit les 2,3 du courant normal. La résistance en fonte pesait 45 kg et atteignait 90°. Il aurait fallu, pour pouvoir démarrer directement sous 500 v, un rhéostat pesant environ 200 kg.

L'auteur conclut qu'il est possible et intéressant, dans bien des cas, de remplacer l'emploi des rhéostats de démarrage, par le démarrage à demi-tension qui n'exige qu'un interrupteur à deux mâchoires réunies par une résistance fixe peu volumineuse. J. C.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Revues, analyses et informations

Le développement des distributions d'énergie électrique en Allemagne.

Dans son numéro du 15 mai 1919, « L'Union économique de l'Est » donne la traduction suivante d'un article sur ce sujet publié dans « Iron Trade Review » :

La Prusse a créé une centrale très importante à Doeverden. Cette entreprise a pour but l'utilisation de la force motrice du Weser, tant pour l'irrigation et les besoins de l'agriculture, que pour les distributions d'énergie électrique en général. L'énergie totale annuelle est de 23 millions de kilowatts-heure, y compris les centrales à vapeur de secours.

Des barrages ont été établis près d'Hemfert et Helmingshausen, tant pour faciliter la navigation sur l'Eder et le Diemel que pour économiser les eaux que le Weser fournissait pour les besoins du canal de Hanovre au Rhin. L'énergie hydraulique ainsi récupérée sera utilisée par deux centrales dans lesquelles on espère produire annuellement 28 millions de kilowatts-heure. Plusieurs villes et communes seront alimentées, parmi lesquelles citons : Cassel, Fritzlar, Homberg, Walburg et Gœttingen.

La partie sud de cette entreprise a pour but l'utilisation du haut Weser. Son aménagement, entrepris tout dernièrement par le gouvernement prussien, doit fournir annuellement environ 25 millions de kilowatts-heures. Le même projet comprend l'installation d'une centrale à vapeur pour laquelle le gouvernement a voté, en 1918, 13 millions de marks.

L'administration des chemins de fer s'est également occupée de la question électricité en prévision de l'électrification d'une partie de ses lignes. La première centrale se trouve près de Bitterfeld ; elle est destinée à alimenter la ligne des chemins de fer Bitterfeld-Magdeburg-Leipzig-Halle et, en même temps, alimentera plusieurs consommateurs privés.

Les conditions économiques imposées par cette guerre ont également amené le gouvernement bavarois à s'occuper de la distribution d'énergie électrique pour favoriser le développement industriel de ce pays. L'utilisation de la force motrice du lac Walchen n'est qu'un premier pas dans cette voie. Une société bavaroise d'énergie et éclairage a été formée. Elle se propose d'établir un réseau à très haute tension avec des sous-stations importantes pour fournir le courant à différents centres de distribution d'électricité, lesquels, à leur tour, alimenteront les consommateurs. La force motrice sera fournie par la centrale du lac Walchen et les différentes centrales existant déjà sur la rive droite du Rhin que la société absorbera.

Le grand-duché de Bade veut aussi avoir son entreprise de distribution d'électricité. La centrale de Murg, dans la Forêt-Noire, sera équipée pour produire 85 millions de kilowatts-heures, dont 15 millions sont destinés à la traction.

On remarque la même tendance en Saxe. Des progrès rapides ont été déjà réalisés dans cet ordre d'idées. Bien avant 1914, cet Etat a entrepris la construction de plusieurs centrales électriques en coopération avec différentes municipalités. Dans le rapport présenté au parlement saxon sur cette question, il a été envisagé l'unification des tensions et du prix pour tous les réseaux de distribution d'électricité sur tout le territoire, ils indiquent d'ailleurs que le but recherché est d'offrir l'énergie électrique aux consommateurs à un prix aussi bas que possible. Dans ce but, l'Etat s'est rendu acquéreur en 1912, pour la somme de 54 millions de marks, d'immenses champs de lignite. Un service spécial de distribution d'électricité a été créé en 1916, qui a plein pouvoir en la matière.

Assemblées générales

Compagnie générale parisienne de Tramways.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 29 AVRIL 1919.

Les pourparlers engagés depuis longtemps avec le département de la Seine pour obtenir la révision du contrat de concession de 1910 ont abouti à un accord. Cet accord comporte le relèvement des tarifs.

Il contient les clauses financières suivantes :

A dater du 1er janvier 1918, il est inscrit à un compte général de gestion les recettes et les dépenses d'exploitation, l'intérêt et l'amortissement des obligations, une somme forfaitaire annuelle de 720 000 fr à titre de réserve pour renouvellement des voies et du matériel roulant, sauf à prélever sur les provisions correspondantes les dépenses effectives de cette nature ; enfin la Compagnie a la faculté de porter, en outre, en dépenses, chaque année, la somme nécessaire pour servir aux actions de capital non amorties, à l'exclusion de toute attribution aux actions de jouissance, un intérêt égal à la moyenne des dividendes distribués en 1911, 1912 et 1913, dans la limite d'un maximum de 4 pour 100.

D'autre part, la Compagnie a ouvert un compte spécial de guerre qui, au 31 décembre 1918, est débiteur de 5 600 000 fr, montant de l'insuffisance de gestion et de l'insuffisance de l'entretien et du renouvellement des voies et du matériel. La Compagnie et le Département liquideront ultérieurement ce compte spécial.

Les recettes du trafic ressortent à 9 964 092 fr en augmentation de 300 926 fr sur l'exercice précédent. Le nombre de voyageurs a été de 84 816 123 et le nombre de kilomètres parcourus de 8 414 804.

La recette par kilomètre-voiture atteint 1,184 fr au lieu de 1,115 fr en 1917.

Les dépenses générales d'exploitation, non compris les dépenses exceptionnelles de réfection des voies et du matériel, ont été de 10 521 053 fr en augmentation de 1 456 874 fr. Cette augmentation est due à l'élévation des prix des matières et de la main-d'œuvre.

La vente des vieilles matières a atteint le chiffre de 247 092 fr.

L'insuffisance de gestion s'élève à 309 869 fr.

Conformément aux clauses financières du nouvel accord,

Digitized by Google

on a inscrit au crédit du compte de gestion les recettes du trafic et hors trafic et le solde du compte « Intérêts et divers » et au débit de ce compte les dépenses générales, l'intérêt et l'amortissement des obligations, l'abonnement au Timbre, la provision forfaitaire annuelle de 720 000 fr pour renouvellement des voies et du matériel, enfin une somme de 1 682 609, 77 fr, représentant la réserve légale et l'intérêt à 4 pour 100 du capital non amorti. Sous réserve des vérifications auxquelles procède actuellement l'Administration préfectorale, l'insuffisance du compte de gestion ressort à 3 439 934, 32 fr.

Cette somme a été portée au débit du Compte spécial de guerre, ainsi que la somme de 2 160 000 fr relative à l'insuffisance d'entretien et de renouvellement des années antérieures. Le Compte spécial de guerre reste ainsi débiteur de 5 599 934, 32 fr au 31 décembre 1918.

Le solde du compte de profits et pertes se compose de 36 627, 64 fr, reliquat de 1917; de 459 785, 80 fr de règlement de comptes d'exercices antérieurs et de 1 682 609, 77 fr de réserve légale et intérêts 4 pour 100 au capital non amorti, soit un solde créditeur de 2 179 023, 21 fr.

Sur ce bénéfice il est prélevé 107 119, 77 fr pour la réserve légale; 5 pour 100 de dividende pour l'exercice 1914 aux 57 602 actions de priorité non amorties (coupon n° 7) et 5 pour 100 pour l'exercice 1915 aux mêmes actions (coupon n° 8); 107 119, 77 fr au fonds d'amortissement des actions de priorité.

Le solde à reporter est de 524 733, 67 fr.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1918.

Actif.

	fr
Immeubles, terrains et constructions	9 858 600,48
Voies ferrées, dépendances et dépenses diverses.	24 583 554,15
Canalisations électriques	3 442 331,94
Cavalerie	23 419,81
Matériel roulant, matériel fixe et outillage	12 435 854,52
Mobilier	174 872,77
Compte de réforme de matériel désaffecté	2 899 720,29
Approvisionnements divers	2 280 284,96
Caisses et banquiers	816 037,18
Portefeuille, cautionnement	5 368 574,23
Dépenses relatives aux lignes nouvelles et à la transformation générale	10 531 723,09
Divers comptes du personnel	4 745,62
Compte spécial de guerre	5 599 934,32
Débiteurs divers	5 493 556,07
	83 513 209,42

Passif.

	fr
Capital social :	
99 947 actions ordinaires de 250 fr	24 986 750 »
57 602 actions de priorité 5 pour 100 de 250 fr.	14 400 500 »
Obligations 4 pour 100	18 863 983,68
Réserve statutaire	1 225 136,30
Amortissement du capital	5 612 750 »
Réserve d'amortissement par remboursement d'obligations	1 496 417 87
Fonds d'amortissement	2 030 654,19
Provision spéciale	1 354 988,09
Provision. Règlement de comptes litigieux	1 349 447,55
Provision pour renouvellement des voies et du matériel au 31 décembre 1917	1 178 582,15
Provision pour renouvellement des voies et du matériel roulant	462 995 73
Provisions pour insuffisance d'entretien et de renouvellement	2 160 000 »
Droits de stationnement	1 377 229,56
Personnel. — Divers comptes	28 116,90
Divers créditeurs	4 028,30
Coupons à payer :	
Actions	17 560,34
Obligations	451 645,55
Obligations à rembourser	309 000 »
Profits et pertes. — Solde en excédent de l'Exercice 1918	2 179 023,21
	83 513 209, 42

Compagnie générale d'Electrochimie de Bozel.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 28 MAI 1919.

Les bénéfices industriels et commerciaux, intérêts et bénéfices divers se sont élevés à 2 035 187,53 fr.

Les frais généraux ont été de 590 042,93 fr, les intérêts des obligations de 124 222,50 et les amortissements de 554 695,62 fr.

Le solde créditeur s'élève à 766 226,48 fr en y ajoutant le report de 1917, 250 403,14 fr, il reste un solde disponible de 1 016 629,62 fr qui est réparti : 5 pour 100 à la réserve légale, 11 pour 100 de dividende aux actions et 55 187,27 fr à la participation statutaire du Conseil.

Le solde à reporter est de 263 131,03 fr.

Le dividende de 22 fr par action sera payé à partir du 15 juin, sur le coupon n° 13, à la Banque française pour le Commerce et l'Industrie et au Crédit commercial de France, sous déduction des impôts, soit 20,90 fr par action nominative et 19,762 fr par action au porteur.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1918.

Actif.

		fr
Apports		1 »
Licences et Brevets Lonza (Apports Société niçoise d'Electrochimie)		37 941,05
Frais de constitution de Société, mobilier, administration centrale, expérimentations, brevets.		1 »
Prime de remboursement obligations		273 100 »
Savoie :		
Mines, terrains et chutes		843 553,81
Usines hydro-électrique et électrochimique du Villard		573 555,90
Travaux d'aménagement de la Chute de Champagny et frais d'installation nouvelles usines		2 450 633,75
Alpes-Maritimes :		
Terrains et chute		834 428,93
Usine Electrochimique de Plan-du-Var		421 529,93
Approvisionnements		1 336 193,84
Stocks		1 118 736,04
Débiteurs divers		939 867,11
Créance privilégiée sur la Société générale Force et Lumière :		
Solde prix de vente chute Rozière (payable par annuités)		765 320,65
Solde avance pour construction chute Rozière (remboursable par annuités)		1 119 118,90
Cautionnements		9 730 »
Portefeuille-Titres		1 214 000 »
Participations		66 600 »
Compte d'Ordre et Divers		106 766,95
Opération de change garantie en Suisse		2 200 000 »
Disponible : Caisses, Banques et Fonds Publics.		3 071 967,27
		17 383 046,16

Passif.

			fr
Capital actions			6 000 000 »
Réserve légale			324 269,74
Réserve extraordinaire			1 200 000 »
Réserve pour réfection du matériel			150 000 »
Bénéfices réservés sur vente Rozière			549 739,70
Obligations			2 731 000 »
Créditeurs divers			2 962 367,80
Coupons à payer			127 822,25
Obligations à rembourser			33 400,10
Compte d'Ordre et Divers			106 766,95
Dû sur titres et participations			1 050 »
Opération de change garantie en Suisse			2 200 000 »
Profits et pertes :			
Report de l'Exercice 1917	250 403,14		
Bénéfices de l'Exercice 1918	1 320 922,10		
		1 571 325,24	
A déduire : Amortissements ordinaires.	411 507,45		
Amortissements extraordinaires	143 188,17		
		554 695,62	
			1 016 629,62
			17 383 046,16

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR : J. BLONDIN Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF : Alfred SOULIER. Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. TOME V. — N° 25. 21 JUIN 1919.

Chronique. — La deuxième Assemblée générale de la « R. G. E. ». — Bibliographie : La Télégraphie sans fil. La Téléphonie sans fil. Applications diverses, par MM. G.-E. PETIT et Léon BOUTHILLON ; Des amortissements, par René DELAPORTE, p. 873-874.

Section scientifique et technique. — Essai à puissance réduite des alternateurs, par TOGNA, p. 875. — Revues, analyses et informations : Oscillations électriques dans les antennes et les bobines inductrices, p. 879.

Section industrielle. — L'éclairage des écoles, par A. BOUTARIC, p. 885. — Revues, analyses et informations : Mesures du rapport de transformation et du déphasage entre primaire et secondaire dans les transformateurs d'intensité, au moyen d'un transformateur annulaire, p. 892 ; Sur l'utilisation technique de l'azote de l'air à l'aide de l'arc électrique, p. 895 ; L'électroculture de la pomme de terre, p. 897.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Société anonyme Westinghouse, p. 899 ; Energie électrique du Sud-Ouest, p. 899 ; Compagnie générale de Télégraphie sans fil, p. 900.

Section de législation. — Le permissionnaire simplement autorisé à fournir la force motrice à l'exclusion de l'éclairage électrique peut-il être poursuivi en simple police pour avoir fait, au moyen des mêmes fils, une distribution de lumière ? par Paul BOUGAULT, p. 901. — Législation, jurisprudence, réglementation : Décret concernant l'admission temporaire des produits étrangers des catégories prohibées, p. 904.

La deuxième Assemblée générale de la « R. G. E ». — Ainsi qu'il était annoncé dans les avis publiés dans les précédents numéros, la deuxième Assemblée générale de la « R. G. E. » a eu lieu le mercredi 11 juin à 11 heures. On trouvera dans la « Section économique et financière » d'un de nos prochains numéros, le compte rendu de cette Assemblée.

A l'issue de l'Assemblée, eut lieu un déjeuner, présidé par M. Gabriel Cordier, président du Conseil d'administration de la « R. G. E. », déjeuner auquel étaient invités :

M. Mahieu, directeur de la Voirie routière au Ministère des Travaux publics, direction dont dépend le Service des Distributions d'énergie électrique ;

M. Monmerqué, inspecteur général des Ponts et Chaussées, président du Comité d'Electricité ;

M. Ourson ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, secrétaire du Comité d'Electricité ;

M. Maurice Leblanc, membre de l'Institut, président de la Commission électrotechnique internationale ;

M. Paul Janet, directeur de l'Ecole supérieure d'Electricité et du Laboratoire central d'Electricité ;

M. Larnaude, président de la Société française des Electriciens ;

M. Blanchet, président de la Société hydrotechnique de France ;

M. Kestner, président de la Société de Chimie industrielle ;

MM. les présidents des Syndicats et Chambres syndicales formant l'Union des Syndicats de l'Electricité ;

M. Mailloux, ancien président de l'American Institute of Electrical Engineers ;

MM. Dumas, Matignon, Soulier, respectivement rédacteur en chef de « Le Génie civil », « Chimie et Industrie », « Revue générale de l'Electricité ».

M. Tribot-Laspière, secrétaire général de l'Union des Syndicats de l'Electricité.

M. Gérard, secrétaire général de « Chimie et Industrie », etc.

A la fin du déjeuner, M. J. Blondin, directeur de la « R. G. E. », a prononcé une allocution dans laquelle, après avoir fait ressortir la toute puissance des idées d'union et de coopération qui ont présidé à la fondation de la « R. G. E. », il a demandé aux industriels présents de coopérer à la rédaction de la « R. G. E. » en fournissant à celle-ci tous les renseignements lui permettant de faire connaître l'importance et la qualité de leurs fabrications.

Au cours de cette allocution, M. Blondin a rappelé le rôle important joué par M. Blondel, membre de l'Institut, dans la fusion de « La Lumière électrique » et de « La Revue électrique » en vue de la création de la « Revue générale de l'Electricité » et il a été décidé que l'adresse suivante serait envoyée à M. Blondel.

« Le Conseil d'Administration de la « R. G. E. » et ses invités, regrettant vivement que M. Blondel, président du Comité de rédaction de la « R. G. E. » ne

Digitized by Google

puisse être au milieu d'eux, lui expriment, leurs vifs et sincères remerciements pour la part prépondérante qu'il a prise dans la fondation de la « R. G. E. » et pour l'intérêt qu'il ne cesse de porter à cette Revue. »

Bibliographie : La télégraphie sans fil La téléphonie sans fil Applications diverses, par MM. G.-E. Petit, ingénieur des Postes et Télégraphes, directeur technique de la Compagnie générale Radiotélégraphique et Léon Bouthillon, ingénieur des Postes et Télégraphes, directeur du Service central de la Télégraphie sans fil, répétiteur à l'Ecole polytechnique. Préfaces par le professeur A. d'Arsonval, membre de l'Institut (1). — Ce volume, quatrième édition de l'ouvrage des auteurs, contient tous les derniers perfectionnements de la radiotélégraphie et a été complètement refondu. Il est divisé en deux parties, la première est consacrée aux oscillations électriques et aux ondes électromagnétiques. Cette première partie ne contient pas de développements mathématiques, les auteurs s'étant proposés d'établir un traité à la portée d'un public n'ayant que des connaissances scientifiques élémentaires. Aussi n'y rencontre-t-on pas d'équations différentielles, ni d'autres calculs, cependant toutes les formules nécessaires pour bien comprendre les phénomènes radiotélégraphiques sont données dans le traité. Le premier chapitre est consacré à l'étude des phénomènes fondamentaux : Champ électromagnétique d'un élément de courant, circuits oscillants, principes des radiocommunications par antennes avec prises de terre, problème de l'émission et problème de la réception. Le deuxième chapitre traite de la propagation des ondes électromagnétiques à la surface de la terre Le troisième étudie l'antenne, ses différentes formes, l'énergie mise en jeu, le rayonnement des antennes et les prises de terre.

Le quatrième chapitre s'occupe de la transmission des ondes électromagnétiques. Les auteurs y étudient les oscillations électriques amorties obtenues par la décharge d'un condensateur dans un circuit à étincelle, ils font d'abord un exposé rapide de la théorie et donnent ensuite une description détaillée des appareils employés dans le circuit de charge, tant en courant continu qu'en courant alternatif, et dans le circuit oscillant. Ils passent ensuite à l'étude des oscillations entretenues produites soit par l'arc électrique, soit par les alternateurs à haute fréquence et les transformateurs de fréquence dont ils décrivent certains types, soit enfin par les lampes à vide à trois électrodes ; ils font à ce propos un exposé rapide de la théorie de ces lampes. Ils terminent le chapitre en examinant les différents procédés d'excitation des antennes et les appareils employés. Le chapitre V est consacré à la réception des ondes électromagnétiques ; après quelques considérations d'ordre général, les auteurs passent en revue les différents types de détecteurs, ils insistent en particulier sur l'emploi des lampes à vide à trois électrodes comme détecteurs et amplificateurs ; ils étudient également dans ce chapitre les appareils récepteurs et enregistreurs, les procédés de sélection et de syntonisation, la liaison du détecteur et des circuits à haute fréquence ; ils donnent enfin un exemple d'un montage de réception complet. Le chapitre VI est consacré au problème de la direction des ondes et de la localisation du point d'émission.

La deuxième partie de l'ouvrage de MM. Petit et Bouthillon traite des radiocommunications. Dans le chapitre VII, après un court résumé historique sur la radiotélégraphie, les auteurs étudient la technique de la radiotélégraphie qui comporte deux méthodes : la méthode de la décharge du condensateur dans un circuit à étincelle et la méthode des oscillations entretenues, et ils font la description d'un grand nombre de stations de toutes puissances utilisant les deux procédés ; dans le même chapitre l'état actuel et les applications de la radiotélégraphie sont rapidement passés en revue Le chapitre VIII est consacré à la radiotéléphonie, à sa théorie, à la description et au montage de ses appareils. Le chapitre IX envisage le problème de la transmission des images sans fil et le chapitre X celui de la transmission d'énergie à distance sans fil. La deuxième partie est complétée par quatre notes La première est relative aux signaux horaires et aux radiotélégrammes météorologiques transmis chaque jour par la station de la Tour Eiffel, la seconde donne les principes d'établissement d'un nouveau type d'alternateurs applicables au cas de la haute fréquence ; la troisième note décrit le transformateur statique universel C. G R. de fréquence et la note IV donne la convention radiotélégraphique internationale, le protocole final et le règlement de service annexé à la Convention.

Le remarquable ouvrage de MM. Petit et Bouthillon se termine par une instruction à l'usage des stations radiotélégraphiques contenant tous les renseignements nécessaires pour l'exploitation pratique des stations radiotélégraphiques.

Bibliographie : Des amortissements (Immobilisation, capital social, emprunts, Crédit Foncier, diverses modalités), par René Delaporte, chef de contentieux et de services financiers de banque, diplômé H. E. C., licencié en droit, expert comptable diplômé, etc (1). — Cette étude est le résumé d'une série de conférences faites en la salle de la Chambre de Commerce de Grenoble à l'Association des comptables de l'Isère et à la Société de comptabilité de France. Tous les cas connus sont étudiés, disséqués, discutés et solutionnés ; le point de vue juridique s'allie au point de vue administratif, pour se résumer dans la formule comptable qui fait tout saisir.

Ce livre est l'œuvre d'un esprit lucide et réfléchi, qui a dégagé l'essence des règles à suivre et en fait comprendre lumineusement les sens. Il démontre comment l'amortissement du capital se résoud en celui des immobilisations ou sinon il y a *réserve* et comment le remboursement des obligations peut amener la constitution d'une réserve, ce qui constitue en réalité deux amortissements au détriment des dividendes des actionnaires.

Il mérite d'être recommandé à tous les hommes d'affaires : administrateurs, commissaires des comptes et chefs de comptabilité et au public qui s'intéresse à la question des bilans. C'est une étude excellente.

(1) Un volume 25 cm × 16 cm. 304 pages, 197 fig., 16 planches hors texte, edité par la librairie Delagrave, 15, rue Soufflot, Paris. Prix broché, 15 fr.

(1) 1 vol., 22 cm × 13 cm, de 90 pages, en vente chez Jules Rey, librairie, 23, Grand'Rue, Grenoble. Prix 3 fr.

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Essai à puissance réduite des alternateurs

Dans un précédent article (voir « R. G. E. du 31 mai 1919) l'auteur a indiqué une méthode simple permettant de déterminer rapidement tous les éléments des diagrammes de Potier et de Blondel : fuites de têtes de bobines, dispersion d'encoches, coefficients de réactions directe et transversale, à l'aide du fluxmètre. Dans l'étude ci-dessous, il généralise l'emploi de cet appareil et montre que l'on peut, avec une puissance très réduite et du courant continu seul, l'alternateur restant au repos, déterminer expérimentalement et directement l'excitation en charge, pour un débit quelconque, en faisant apparaître toute la réaction d'induit et les fuites exactes des pôles.

Détermination directe de l'excitation en charge. — Méthodes simplifiées. — Soient : U la tension à obtenir aux bornes, I l'intensité du courant et φ_1 le déphasage de i sur U.

Nous avons vu précédemment (1) que la force électromotrice $e = OC$, véritablement induite par le flux résultant dans l'armature d'induit, était la résultante géométrique des vecteurs U, ri et $l\omega i$ (r étant la résistance ohmique et $l\omega$ la réactance des têtes de bobines) (fig. 1).

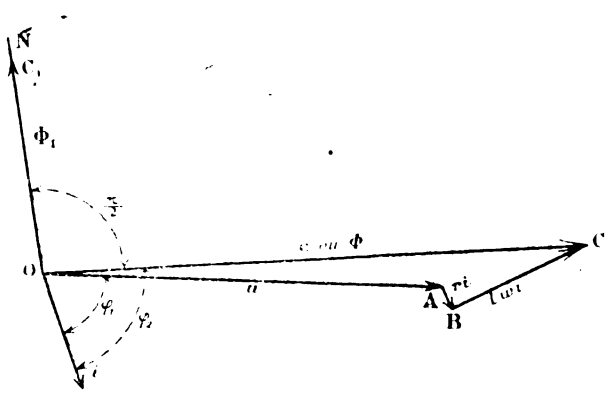


Fig. 1.

Cette force électromotrice résultante e sera décalée d'un angle $\varphi_2 > \varphi_1$ sur l'intensité. Le polygone OABC constitue le diagramme des forces électromotrices. La tension e pour être produite exige un flux $\Phi_1 = OC_1$ décalé de $\frac{\pi}{2}$ en avant de e.

Ce flux est lui-même la résultante d'un certain nombre de flux composants, nombre variable avec les divers diagrammes proposés. Nous adopterons celui de Blondel et, suivant une habitude courante, nous décalerons le diagramme des flux de $\frac{\pi}{2}$ en arrière en prenant une échelle convenable, de façon à faire coïncider le vecteur Φ_1 représentant le flux résultant avec le vecteur OC représentant la force électromotrice résultante e.

$\Phi_1 = OC$ sera formé de la composition géométrique de trois flux (fig. 4) : 1° OF, flux émis par le pôle inducteur; 2° FD, flux de réaction transversale; 3° DC, flux de dispersion d'encoches; autrement dit, si nous considérons l'instant où le flux a sa valeur maximum Φ_1 dans la phase 1, celui-ci est la somme arithmétique des projections of, fd et dc de OF, FD et DC sur OC (1).

Supposons connus tous les éléments de ce diagramme et envisageons le cas, pour simplifier, d'un alternateur à deux pôles que nous développerons suivant la figure 2. Si nous nous rappelons que l'axe de la force magnétomotrice d'induit coïncide avec l'axe d'une phase au moment où le courant est maximum dans celle-ci, il suffira, pour reproduire l'image exacte de ce qui se passe en charge (c'est à-dire pour faire apparaître les divers flux entrant dans le diagramme, ainsi que la réaction directe), d'envoyer un courant continu dans la phase I (le couplage des phases étant celui de la figure 3 dans lequel le courant i dans la phase I se partage également et avec le sens convenable dans les phases II et III) de caler cette phase de façon que son axe xx' soit décalé de $\left(\varphi_3 + \frac{\pi}{2}\right)$ en avant de l'axe des pôles dans le sens du mouvement normal de la machine en charge. Le diagramme étant supposé connu, tous les décalages $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ successifs de i sur u, e et OF le sont aussi.

(1) Voir *R. G. E.*, 31 mai 1919, t. v, p. 779.

(1) Il est aisé de se rendre compte que l'axe de symétrie du flux Li de dispersion d'encoches coïncide toujours avec l'axe de la force magnétomotrice résultante à la périphérie de l'induit. Cette force magnétomotrice se compose de la somme géométrique : 1° de la force magnétomotrice propre de l'induit; 2° de la force magnétomotrice nécessaire pour engendrer le flux résultant Φ dans l'induit seul. Cette deuxième force magnétomotrice étant, en général, négligeable devant la première, nous pourrons admettre que le flux Li ne dépend que des ampères-tours induits et que, par suite de la rotation admise de $\frac{\pi}{2}$ en arrière du diagramme des flux, le vecteur DC représente Li en grandeur et en phase.

Digitized by Google

Appelons A et B les deux encoches d'une même bobine de la phase I, (nous supposerons pour simplifier qu'il n'y a qu'un trou par pôle et par phase).

La force électromotrice résultante e est décalée de φ_2 en avant de i; c'est donc que le flux résultant Φ pré-

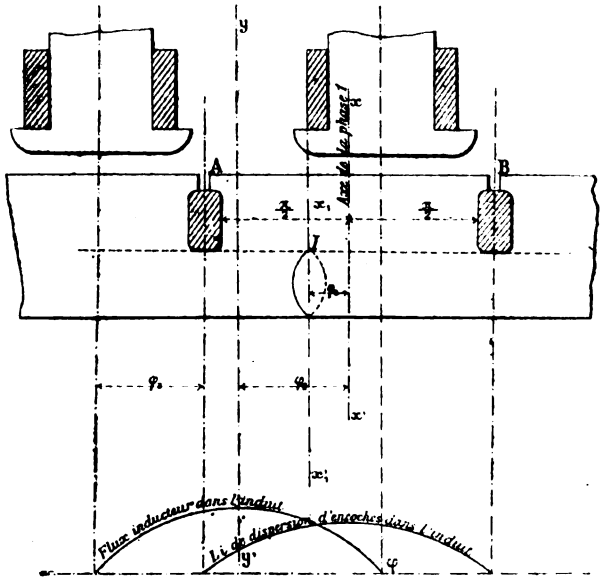


Fig. 2.

sente son maximum dans l'armature d'induit suivant l'axe $x_1 x'_1$ déc lé de φ_2 en arrière de xx', par rapport au sens du mouvement. Autrement dit, une spire I enroulée autour de l'armature d'induit et passant par le fond de l'encoche accuserait une variation de flux égale à Φ si l'on supprimait le courant i dans l'induit et le courant d'excitation.

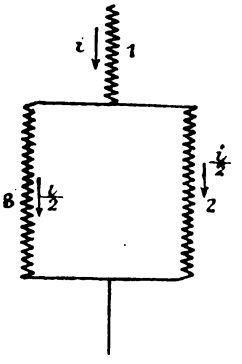


Fig. 3.

Inversement, les angles φ_1, φ_2, φ_3 étant connus, calons les pôles comme il est indiqué précédemment et branchons la spire I sur le fluxmètre. Envoyons le courant i dans l'induit, le fluxmètre dévie de α divisions (correspondant aux flux de dispersion d'encoches, de réaction transversale et d'un flux φ, passant dans le pôle et engendré par la force magnétomotrice de réaction directe). Si nous excitons alors le pôle jusqu'à ce que la déviation du fluxmètre corresponde à un flux $\Phi = OC$, l'intensité inductrice I trouvée sera celle correspondant à la charge i, présentant un décalage φ_1 sur la tension aux bornes u. Or seul l'angle φ_1 est donné, l'angle φ_2 sera connu en même temps que $l\omega i$ de têtes de bobines, lequel peut se déterminer facilement. Dans la plupart des cas u se confond d'ailleurs sensiblement avec e, en grandeur et en phase, ri et $l\omega i$ étant négligeables. Il nous sera donc toujours possible de placer correctement la spire I par rapport à l'axe de la phase I. Il nous reste à présent à caler convenablement les pôles par rapport à l'induit et à exciter les inducteurs de façon que le flux soit Φ dans la spire I et que le décalage de l'axe xx' sur l'axe yy' d'interpôle soit φ_3, que nous ne connaissons pas.

Remarquons que le fait d'envoyer un courant i dans la phase I *détermine immédiatement le flux Li en grandeur et phase convenables* DC. *La composante de flux dans la spire* I *se trouve être automatiquement* dc (*projection de* DC *sur* OC).

L'excitation et le calage doivent alors être tels que le flux de réaction transversale $\mathcal{L}i$ et le flux du pôle φ ferment le diagramme amorcé en OCD.

Il semble à priori qu'il y ait une infinité de solutions. En réalité une seule convient.

En effet, si nous nous fixons un décalage φ'_3 quelconque (fig. 4), le flux de réaction transversale $\mathcal{L}i = FD_1$

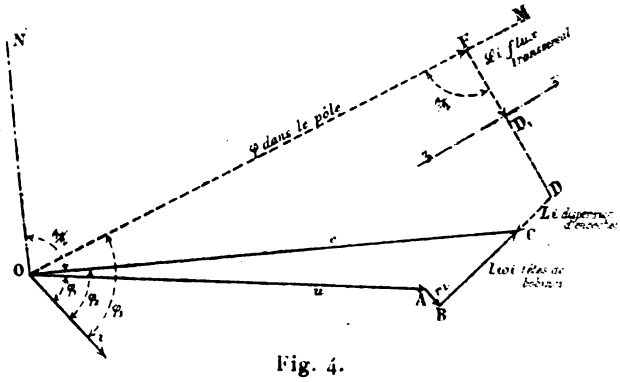


Fig. 4.

reste sensiblement constant quelle que soit l'excitation. Si nous faisons varier celle-ci, le point F se promènera sur OM (faisant un angle φ'_3 avec i) et l'extrémité D_1 du vecteur FD_1 se déplacera sur zz' parallèle à OM qui peut ne pas passer par D.

Pour que le point D_1 tombe en D (et que le flux soit $\Phi = OC$ dans la spire I), il faut que la projection des trois vecteurs OF, FD_1 et DC sur un axe ON perpendiculaire à OC soit nulle, c'est-à-dire que la somme de ces trois flux dans une spire II placée à $\frac{\pi}{2}$ de la spire I doit être nulle. Le mode opératoire en découle immédiatement. Placer la spire I décalée de $\frac{\pi}{2} + \varphi_2$ sur l'axe de la phase I, enrouler la spire II à $\frac{\pi}{2}$ en avant ou en arrière de la spire I; caler approximativement les pôles et envoyer le courant i dans l'induit (les fluxmètres respectivement branchés sur I et II dévient). Exciter les inducteurs et faire varier simultanément leur position jusqu'à ce que le fluxmètre sur II soit revenu au zéro et que le fluxmètre sur I indique le flux Φ.

L'excitation trouvée sera celle correspondant à une différence de potentiel u aux bornes avec un débit i décalé de φ_1 sur cette différence de potentiel.

Digitized by Google

Remarque I. — La méthode serait théoriquement rigoureuse si le bobinage induit se réduisait à une spire ou à une couche de spires, infiniment mince, placée au fond de l'encoche.

En réalité le bobinage est réparti sur toute la hauteur de l'encoche, de sorte que les différentes spires sont

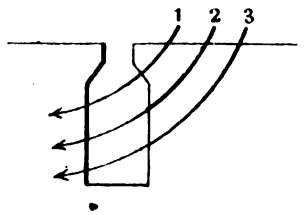


Fig. 5.

inégalement intéressées par les diverses lignes de force de dispersion 1, 2, 3 (fig. 5).

Un calcul simple (voir Guilbert. *Eclairage électrique* du 2 février 1905) montre que la spire doit être placée à une distance $\frac{h}{\sqrt{3}}$ du fond de l'encoche, h étant la hauteur de l'encoche. L'erreur commise est en général négligeable (1).

Remarque II. — Sauf dans quelques cas spéciaux, il sera difficile, sinon impossible, de placer une spire dans le fond de l'encoche ou à une distance quelconque de ce fond. Même lorsque cette possibilité existe, le nombre d'encoches par pôle, n'étant jamais très grand on n'arrivera que rarement à caler les spires I et II dans la position convenable. Si, d'autre part, l'alternateur possède n trous par pôle et phase il faudra soit tenir compte d'un coefficient de réduction dans la construction du diagramme OABC, soit constituer les bobines I et II par n spires distantes entre elles d'un pas dentaire et caler convenablement l'ensemble par rapport à l'axe de la phase I.

Toutes ces difficultés sont pratiquement insurmontables. Il est préférable d'utiliser la bobine auxiliaire d'entrefer qui nous a servi à déterminer le $(l + L)\,\omega i$ dans l'essai de court-circuit. (Voir *R. G. E.* du 31 mai 1919.)

Une étude sommaire nous montre que, dans ce cas, la bobine auxiliaire n'est nullement influencée par le flux Li = CD de dispersion d'encoches. Le fluxmètre branché sur la bobine d'entrefer I' devra indiquer, pour le calage et l'excitation convenables, non plus le flux e = OC, mais le flux cd, cd étant la projection du flux de dispersion CD sur OC (fig. 6). Pour la même raison la

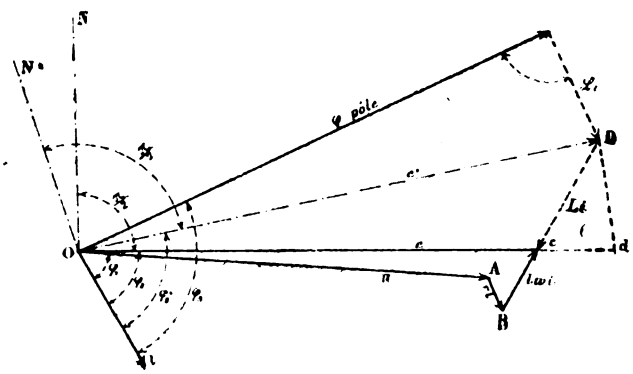


Fig. 6.

bobine II', identique à l'autre, que nous placerons aussi dans l'entrefer en la décalant de $\frac{\pi}{2}$ sur la première, n'indiquera plus un flux nul, mais un flux égal à Dd projection de CD sur ON. Il sera donc nécessaire de connaître le vecteur CD ; nous pourrons alors construire le diagramme OABCD. Nous pouvons adopter aussi un autre procédé de repérage des flux :

Placer la bobine d'entrefer I de façon qu'elle soit décalée de φ'_2 sur l'axe de la phase (φ'_2 étant le décalage de OD sur i) figure 6, le flux qu'elle devra indiquer sera le flux OD. Une deuxième bobine II' décalée de $\frac{\pi}{2}$ sur la première, c'est-à-dire de $\varphi'_2 + \frac{\pi}{2}$ sur l'axe de la phase I, devra indiquer un flux nul (1).

(1) On peut se demander si l'on arrive avec le courant continu à réaliser rigoureusement l'image de ce qui se passe en courant alternatif. Il est facile de voir que l'identité n'est parfaite qu'à un instant seulement de la période, mais que néanmoins l'erreur commise est très faible. Chacune des sections ne donne pas, en effet, un champ à répartition sinusoïdale dans l'espace, mais un champ à répartition rectangulaire.

Le champ d'induit résulte donc de la superposition de rectangles ou de trapèzes dont les côtés non parallèles sont en forme d'escaliers (suivant qu'il y a un ou plusieurs trous par pôle et par phase) dont les axes sont décalés de 120° dans l'espace (cas des machines deux pôles triphasées) et dont les ordonnées instantanées sont décalées de un tiers de période dans le temps (en supposant les courants sinusoïdaux dans le temps). L'ensemble donne un champ résultant qui oscille légèrement par rapport à l'axe des pôles et qui se déforme constamment. On peut décomposer chacun des rectangles composants en une sinusoïde fondamentale dont l'amplitude est égale à $\frac{4}{\pi}$ fois l'amplitude du rectangle (la longueur du rectangle étant égale au pas polaire) et en un certain nombre d'harmoniques.

Deux cas limites peuvent se présenter : 1° les pôles sont munis d'étouffeurs parfaits; seules les ondes fondamentales subsistent, la réaction résulte alors de la superposition de sinusoïdes, le courant continu à injecter dans l'induit devra être égal à $\left(k\,i\,\sqrt{2}\,\frac{4}{\pi}\right)$; i étant la valeur efficace du courant alternatif et k le coefficient de bobinage.

2° L'étouffement des harmoniques est nul ou imparfait, ce qui est le cas normal; l'intensité du courant continu doit être égale à $i\sqrt{2}$. C'est le cas que nous avons considéré dans toute l'étude précédente. Il est certain cependant qu'il y a lieu de déterminer expérimentalement un coefficient de correction qui ne s'éloignera jamais beaucoup de l'unité.

(1) Plus généralement : au lieu de repérer les flux dans une position telle que les 2 composantes du flux résultant

Digitized by Google

De toutes façons, il sera nécessaire de connaître le flux *Li* de dispersion d'encoches qui ne peut être déterminé facilement que par l'essai de court-circuit.

Remarquons que la bobine I d'entrefer utilisée dans l'essai de court-circuit donnera directement le flux total $BD = (l + L)\,i$ (si l'on néglige la chute ri). Ce qui rendra immédiate la construction du diagramme OABD.

On peut cependant obtenir le flux *Li* à l'aide du fluxmètre soit: 1° en alimentant l'induit et en équilibrant le fluxmètre par un montage en pont de Wheatstone, soit: 2° en employant la bobine auxiliaire roulée spire à spire avec une bobine d'induit, préconisée par M. Guilbert. La complication de ces deux procédés ferait perdre tout son intérêt à la méthode.

Pratiquement, les deux bobines auxiliaires d'entrefer seront collées sur une feuille de carton que l'on placera et maintiendra facilement dans l'entrefer à la position convenable.

Dans le cas des grands entrefers de turbos-alternateurs, le montage sera particulièrement commode, les bandes de carton pouvant être remplacées par des réglettes de bois se fixant facilement.

Remarque III. — Les spires placées dans l'entrefer peuvent être remplacées par des spires entourant l'induit et passant au-dessus des encoches. Le procédé nous paraît moins commode que le précédent.

Remarque IV. — L'emploi des spires évitant le flux de dispersion d'encoches et placées dans l'entrefer le plus près possible du pôle suppose que les conducteurs actifs de ces spires (fig. 7) sont situés exactement entre

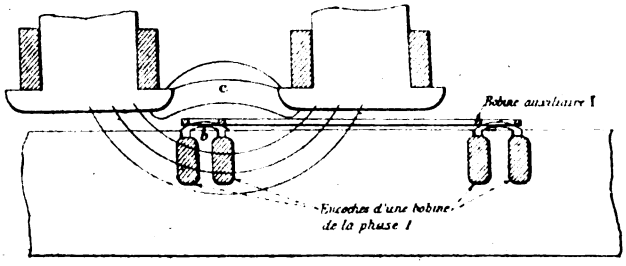


Fig. 7.

les lignes de dispersion d'encoches et les lignes de fuites entre becs polaires, c'est-à-dire que ces spires ne sont traversées ni par le flux *b* ni par le flux *c*.

soient l'une nulle, l'autre maximum, respectivement dans 2 spires décalées de $\frac{\pi}{2}$, on peut en laissant ces dernières décalées de $\frac{\pi}{2}$ les placer d'une façon quelconque, mais connue, dans l'entrefer (distance connue à l'axe des pôles par exemple, et à l'aide du diagramme chercher les composantes *x* et *y* du flux résultant φ dans ces 2 spires. L'excitation et le calage des inducteurs seront convenables quand les fluxmètres indiqueront l'un le flux *x*, l'autre le flux *y*.

Ceci revient à adopter pour le repérage des flux deux axes rectangulaires décalés d'un angle quelconque, mais connu, sur les axes OC et ON.

Pratiquement ces conditions sont réalisées et l'erreur commise est toujours négligeable. *Cette erreur n'affecte d'ailleurs que le flux de dispersion correspondant au courant déwatté.*

Remarque V. — Dans le cas d'un alternateur à plusieurs paires de pôles, les angles de calage doivent être égaux aux angles donnés par le diagramme divisés par *p*.

Remarque VI. — La méthode est vraie quel que soit le diagramme proposé. Nous avons adopté celui de Blondel pour fixer les idées; mais le résultat est absolument indépendant de toute hypothèse sur la décomposition des flux ou des ampères-tours.

Il tient compte de toutes les influences diverses : fuites de pôles, saturation, etc... sauf cependant des courants de Foucault.

Procédé pratique. — L'inspection du diagramme (fig. 8) montre que le flux transversal *Li* n'entre que pour une faible part dans la composition du flux résultant OC,

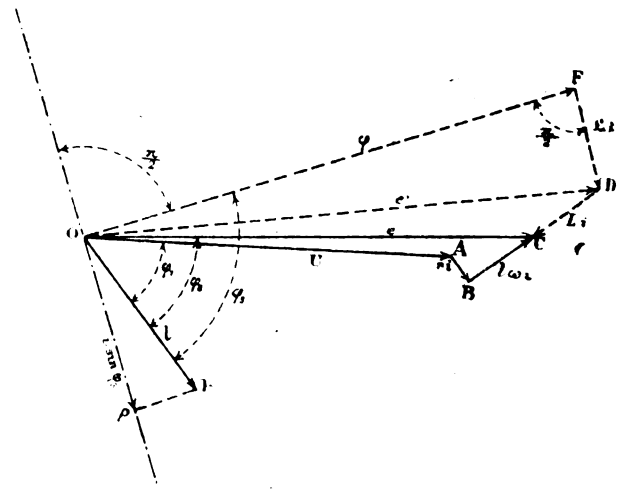


Fig. 8.

le vecteur FD ne s'éloignant que fort peu de la direction perpendiculaire à OC.

Cette faible contribution est d'ailleurs diminuée par la réduction du flux φ dans les inducteurs, réduction provoquée par la saturation d'une moitié du pôle et la désaturation de l'autre moitié. L'effet du flux transversal consiste surtout à décaler fortement le courant *i* sur le flux φ du pôle, c'est-à-dire à augmenter la composante réactive op $= i \sin \varphi_3$ du courant (en quadrature non avec la différence de potentiel aux bornes, mais avec la force électromotrice OF qu'engendrerait le flux φ du pôle s'il était seul). En d'autres termes, pour un courant *i* donné, décalé d'un angle φ_1 sur la tension aux bornes, les ampères-tours de réaction directe (op) seront d'autant plus grands que le flux transversal sera plus grand.

Si l'on remarque à présent que les fuites des pôles ne

Digitized by Google

sont pas ou presque pas influencées par la réaction transversale, on déduit immédiatement *un procédé simplifié de détermination de l'excitation en charge, tenant compte de l'état de saturation des pôles et de leurs fuites.*

A l'aide de la méthode indiquée dans une étude précédente, on déterminera approximativement le flux transversal de façon à évaluer le décalage φ_3 et, par suite, la composante réactive $i \sin \varphi_3$; on obtiendra en même temps le flux utile φ du pôle.

On calera le pôle dans la position du courant en quadrature (axe du pôle coïncidant avec l'axe de la phase I) et on enverra dans la phase I, un courant continu $i\sqrt{2} \sin \varphi_3$. Le fluxmètre préalablement branché sur les spires auxiliaires d'entrefer (spires correspondant à une bobine de la phase I) déviera. On excitera jusqu'à ce que la déviation indique un flux φ. L'excitation trouvée sera celle correspondant à la charge i.

On pourrait encore, l'angle φ_3 étant déterminé, caler les pôles de façon que l'axe de la phase I soit décalée de φ_3 sur l'axe du pôle, envoyer le courant $i\sqrt{2}$ dans cette phase I et exciter les inducteurs de façon que la bobine auxiliaire correspondant à la phase I indique le flux OD.

Résumé. — Le principe des méthodes pour la détermination directe de l'excitation en charge *consiste à faire apparaître* à l'aide du courant continu toute la réaction de l'induit (directe, transversale, dispersion d'encoches, *de façon à provoquer les fuites exactes des pôles*) et d'exciter l'inducteur après un calage convenable, jusqu'à ce que l'on obtienne l'un des flux ou résultante de flux donné par tout, ou partie du diagramme, flux qui sera repéré à l'aide d'une ou plusieurs spires convenablement placées et branchées sur un fluxmètre.

Remarquons que ces méthodes s'appliquent quel que soit le mode de détermination des éléments du diagramme. Elles permettent seules, et simplement, de tenir compte des fuites des pôles puisqu'il est impossible de décomposer la courbe à vide, obtenue par essai, en caractéristique de pôle et caractéristiques d'entrefer et d'induit ; cette impossibilité rendant inapplicable les diagrammes de Blondel, Potier, etc...

REMARQUE. — Tout ce qui précède subsiste dans le cas des alternateurs à inducteurs cylindriques.

TOGNA,
Ingénieur A. et M. et E. S. E.

Revues, analyses et informations

Oscillations électriques dans les antennes et les bobines inductrices [1].

I. — INTRODUCTION. — Une antenne radiotélégraphique moderne se compose, d'une manière générale, de deux parties : une partie verticale, comprenant les conducteurs d'entrée dans le poste, et une partie horizontale ou aérienne. A l'extrémité inférieure de la portion d'entrée on insère des bobines ou des condensateurs destinés à modifier la fréquence naturelle des oscillations électriques dans le système ; le courant est très sensiblement uniforme dans toute cette portion et les capacités, les inductances, les résistances peuvent être considérées comme localisées. Dans la portion horizontale, l'intensité du courant et la tension varient aux différents points et dépendent de la fréquence ; l'inductance, la capacité et la résistance doivent donc être considérées comme réparties sur la longueur tout entière et comme étant fonction de la fréquence. Aussi le calcul des oscillations dans une antenne n'est-il pas aussi simple que le calcul des oscillations dans les circuits ordinaires où toutes les capacités et les inductances peuvent être considérées comme localisées.

Jusqu'ici la théorie des oscillations dans les antennes semble n'avoir pas été établie d'une manière rigoureuse. On rencontre, à leur sujet, dans les recueils, des idées qui paraissent erronnées.

L'auteur considère dans son travail la portion aérienne de l'antenne (CD, fig. 1) comme ayant une inductance, une capacité et une résistance réparties uniformément sur sa longueur ; suivant la pratique habituelle en radiotélégraphie, il suppose la résistance assez faible pour ne pas affecter la fréquence des oscillations et la distribution du courant et du potentiel. La portion d'entrée (BC, fig. 1) est considérée comme dépourvue d'inductance et de capacité, sauf les bobines d'induction ou les condensateurs insérés en A pour modifier les oscillations.

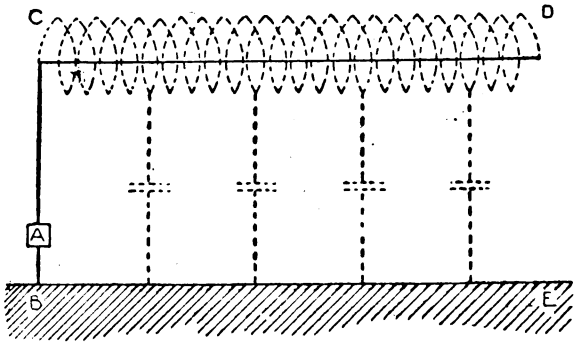


Fig 1.— Antenne représentée comme une ligne sur laquelle sont uniformément distribuées l'inductance et la capacité.

II. — CIRCUIT DANS LEQUEL L'INDUCTANCE ET LA CAPACITÉ SONT UNIFORMÉMENT DISTRIBUÉES. — L'auteur développe la théorie, applicable à tous les circuits dont l'inductance et la capacité ont une distribution uniforme, dans le cas de deux fils parallèles. Les fils ont une longueur l et une faible résistance (fig 2). L'inductance L_1 par unité de longueur est définie par le flux magnétique qui traverserait l'espace com-

[1] John M. MILLER. *Scientific Papers of the Bureau of Standards*, n° 326, 1918, 8 fig., 1 tab.

Digitized by Google

pris entre les fils, sur une longueur de 1 cm, pour un courant de 1A circulant en sens opposé dans les deux fils La capacité C_1 par unité de longueur est définie par la charge que prendrait 1 cm de l'un des fils pour une force électromotrice de 1 V appliquée entre les deux fils. L'expression $L_0 = l L_1$ donnera donc l'inductance totale du circuit si le courant est le même dans toutes ses parties, par exemple, si l'on applique un potentiel constant ou alternatif à faible fréquence en $x = 0$ et qu'on mette en court-circuit l'extré-

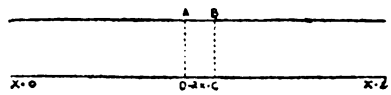


Fig. 2. — Schéma d'un circuit constitué par deux fils parallèles à capacité et inductance uniformément réparties.

mité $x = l$. L'expression $C_0 = l C_1$ représentera la capacité totale entre les fils si l'on applique un potentiel constant ou de faible fréquence en $x = 0$ et que l'autre extrémité soit ouverte.

Supposons qu'on applique en $x = 0$ une force électromotrice sinusoïdale de fréquence f donnant naissance à un courant dont la valeur instantanée en A est i et à une tension v entre A et D. En B le courant sera $i + \frac{\partial i}{\partial x} dx$ et la tension entre B et C sera $v + \frac{\partial v}{\partial x} dx$.

Dans le rectangle ABCD la tension est égale à la vitesse de variation du flux d'induction à travers le rectangle, d'où

$$\left(v + \frac{\partial v}{\partial x} dx\right) - v = -\frac{\partial}{\partial t}(L_1 i\, dx),$$

$$\frac{\partial v}{\partial x} = -L_1 \frac{\partial i}{\partial t}. \qquad (1)$$

De plus, la vitesse d'accroissement, en fonction du temps, de la charge q de l'élément AB sera égal à l'excès du courant qui entre en A sur celui qui sort en B.

D'où

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t}(C_1 v\, dx) = i - \left(i + \frac{\partial i}{\partial x} dx\right),$$

$$-\frac{\partial i}{\partial x} = C_1 \frac{\partial v}{\partial t}. \qquad (2)$$

Les équations (1) et (2) déterminent la propagation du courant et du potentiel le long des fils. Pour des ondes sinusoïdales la solution de ces équations est

$$v = \cos \omega t \left(A \cos \omega \sqrt{C_1 L_1}\, x + B \sin \omega \sqrt{C_1 L_1}\, x\right), \qquad (3)$$

$$i = \sin \omega t \sqrt{\frac{C_1}{L_1}} \left(A \sin \omega \sqrt{C_1 L_1}\, x - B \cos \omega \sqrt{C_1 L_1}\, x\right). \qquad (4)$$

Les constantes A et B dépendent des conditions aux limites. La vitesse de propagation des ondes aux fréquences élevées est

$$V = \frac{1}{\sqrt{C_1 L_1}}.$$

III. — L'ANTENNE. — 1. *Réactance du conducteur faisant communiquer la partie aérienne de l'antenne et le sol.* — Appliquant les équations (3) et (4) à la partie aérienne d'une antenne et supposant que $x = 0$ est l'extrémité d'entrée tandis que $x = l$ est l'extrémité éloignée qui est ouverte, on peut introduire la condition que le courant s'annule pour $x = l$. De (4) on tire

$$\frac{A}{B} = \operatorname{cotg} \omega \sqrt{C_1 L_1}\, l. \qquad (5)$$

Or, la réactance de la partie aérienne de l'antenne, qui comprend toute l'antenne sauf le conducteur d'entrée, est donnée par le courant et la tension pour $x = 0$, c'est-à-dire, d'après (3), (4) et (5)

$$v_0 = A \cos \omega t = B \cos \omega \sqrt{C_1 L_1}\, l \cos \omega t,$$

$$i_0 = -\sqrt{\frac{C_1}{L_1}}\, B \sin \omega t.$$

La réactance de l'antenne, quotient des maxima de v_0 et i_0, est

$$X = -\sqrt{\frac{L_1}{C_1}} \operatorname{cotg} \omega \sqrt{C_1 L_1}\, l.$$

ou, en fonction de $C_0 = l C_1$ et $L_0 = l L_1$,

$$X = -\sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \operatorname{cotg} \omega \sqrt{C_0 L_0}. \qquad (6)$$

et, en tenant compte de la relation

$$V = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}},$$

$$X = -L_1 V \operatorname{cotg} \omega \sqrt{C_1 L_1}\, l,$$

formule indiquée par J.-S. Stone [1].

Aux faibles fréquences la réactance est négative et l'antenne se comporte comme une capacité. La réactance s'annule à la fréquence

$$f = \frac{1}{4\sqrt{C_0 L_0}},$$

elle est ensuite positive et devient infinie pour

$$f = \frac{1}{2\sqrt{C_0 L_0}}.$$

2. *Fréquences naturelles d'oscillations.* — Les fréquences pour lesquelles la réactance de l'antenne, donnée par l'équation (6), est nulle, sont les fréquences naturelles d'oscillation de l'antenne (ou fréquences de résonance) quand la réactance du conducteur d'entrée est nulle. Ces fréquences satisfont à la relation

$$f = \frac{m}{4\sqrt{C_0 L_0}}; \quad m = 1, 3, 5, \text{ etc.}$$

Les longueurs d'onde correspondantes sont :

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{l}{f\sqrt{C_0 L_0}} = \frac{4l}{m}, \qquad (7)$$

soit $\frac{4}{1}, \frac{4}{3}, \frac{4}{5}, \frac{4}{7}$ fois la longueur de l'antenne.

(1) J.-S. STONE, *Congrès International de St-Louis*, 1904, t. III, p. 555.

Digitized by Google

Si le conducteur d'entrée a une réactance X_x, les fréquences naturelles d'oscillations sont déterminées par la condition que la réactance totale de l'antenne soit nulle, c'est-à-dire

$$X_x + X = 0,$$

pourvu que les réactances soient en série avec la force électromotrice.

a) Le cas le plus important, dans la pratique, est celui où l'on insère une bobine d'inductance dans le conducteur d'entrée. Si la bobine a une inductance L, sa réactance est $X_L = \omega L$.

La condition $X_L + X = 0$, qui détermine les fréquences naturelles d'oscillation, conduit à l'équation

$$\omega L - \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \operatorname{cotg} \omega \sqrt{C_0 L_0} = 0,$$

ou

$$\frac{\operatorname{cotg} \omega \sqrt{C_0 L_0}}{\omega \sqrt{C_0 L_0}} = \frac{L}{L_0}. \tag{8}$$

L'équation (8) a été déjà donnée par Guyau (1). La fréquence est abaissée par l'insertion d'une bobine et les diverses fréquences ne sont plus des multiples entiers de la plus faible. Elle détermine les valeurs de ω, et par suite les fréquences et les longueurs d'onde des oscillations naturelles. Elle ne peut pas être résolue directement. On peut utiliser la méthode graphique. Le mémoire de l'auteur contient une table donnant les valeurs de $\sqrt{C_0 L_0}$ pour différentes valeurs de $\frac{L}{L_0}$; on en déduira ω, f ou d.

b) Parfois on insère un condensateur dans le conducteur d'entrée. Si l'on désigne par C la capacité du condensateur, sa réactance est

$$X_0 = -\frac{1}{\omega C}.$$

Les fréquences naturelles d'oscillation, sont données par l'équation

$$X_0 + X = 0.$$

Elles sont augmentées par l'insertion du condensateur. Les diverses fréquences ne sont plus multiples entiers de la plus faible. La condition $X_0 + X = 0$ se traduit par l'équation

$$-\frac{\operatorname{tg} \omega \sqrt{C_0 L_0}}{\omega \sqrt{C_0 L_0}} = \frac{C}{C_0}, \tag{9}$$

qui a été indiquée par Guyau. On peut la résoudre graphiquement.

On étudierait d'une manière analogue des circuits plus complexes.

3. *Résistance, inductance et capacité efficaces d'une antenne.* — Le problème revient à remplacer l'antenne (a) de la figure 3 comprenant une bobine inductrice d'inductance L dans la portion d'entrée et dont la portion aérienne a des caractéristiques uniformément distribuées, par le circuit (b) de la figure 3 comprenant l'inductance L en série avec une résistance R_e, une inductance L_e et une capacité C_e localisées qui sont équivalentes à celles de la partie aérienne.

(1) A. Guyau, *La Lumière électrique*, 1911, t. xv, p. 13.

Pratiquement, les grandeurs les plus importantes à considérer dans une antenne sont la longueur d'onde ou la fréquence de résonance et l'amplitude du courant. Les quantités L_e et C_e sont donc définies comme celles qui donnent au circuit (b) la fréquence de résonance de l'antenne

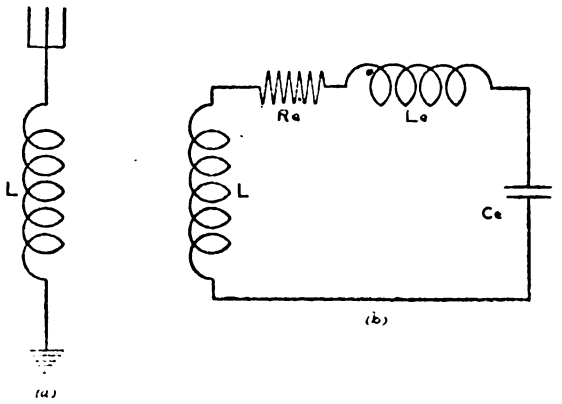


Fig. 3. — (a) Antenne avec bobine inductrice. — (b) Antenne artificielle à constantes localisées, destinée à représenter l'antenne a.

(a) ; de plus, les trois quantités L_e, C_e et R_e doivent être telles que le courant dans (b) ait la même amplitude que dans l'antenne, pour la même force électromotrice. Dans les deux circuits, les valeurs maxima de l'énergie magnétique, de l'énergie électrostatique et la dissipation de l'énergie seront identiques.

Zenneck a indiqué comment on pouvait calculer les valeurs efficaces de l'inductance, de la capacité et de la résistance connaissant la répartition du courant et du potentiel. Si, en un point quelconque x de l'oscillateur, le courant i et le potentiel v sont donnés par les relations

$$i = If(x), \qquad v = V\Phi(x),$$

l'équation différentielle de l'oscillation est

$$\frac{\partial I}{\partial t}\int R_1[f(x)]^2 dx + \frac{\partial^2 I}{\partial t^2}\int L_1[f(x)]^2 dx + \frac{I}{\dfrac{\left[\int C_1 \Phi(x) dx\right]^2}{\int C_1[\Phi(x)]^2 dx}} = 0,$$

où les intégrales portent sur l'oscillateur tout entier.

En posant,

$$R_e = \int R_1[f(x)]^2 dx, \tag{10}$$

$$L_e = \int L_1[f(x)]^2 dx, \tag{11}$$

$$C_e = \frac{\left[\int C_1 \Phi(x) dx\right]^2}{\int C_1[\Phi(x)]^2 dx}, \tag{12}$$

l'équation devient :

$$R_e \frac{\partial I}{\partial t} + L_e \frac{\partial^2 I}{\partial t^2} + \frac{I}{C_e} = 0,$$

ce qui est l'équation différentielle d'un circuit simple contenant une résistance R_e, une inductance L_e et une capacité

Digitized by Google

C_e localisées. Pour évaluer ces quantités il suffit de déterminer $f(x)$ et $\Phi(x)$.

A l'extrémité éloignée de l'antenne le courant est nul. Les équations (3) et (4) donnent, pour $x = l$,

$$v_l = \cos \omega t \left(A \cos \omega \sqrt{C_1 L_1} l + B \sin \omega \sqrt{C_1 L_1} l\right),$$

$$i_l = \sin \omega t \sqrt{\frac{C_1}{L_1}} \left(A \sin \omega \sqrt{C_1 L_1} l - B \cos \omega \sqrt{C_1 L_1} l\right),$$

et, puisque $i_l = 0$,

$$A \sin \omega \sqrt{C_1 L_1} l = B \cos \omega \sqrt{C_1 L_1} l,$$

De (3), on tire

$$v = v_l \cos \left(\omega \sqrt{C_1 L_1} l - \omega \sqrt{C_1 L_1} x\right);$$

d'où

$$\Phi(x) = \cos \left(\omega \sqrt{C_1 L_1} l - \omega \sqrt{C_1 L_1} x\right).$$

De (4), on tire pour $x = 0$

$$i_0 = - B \sqrt{\frac{C_1}{L_1}} \sin \omega t = - A \sqrt{\frac{C_1}{L_1}} \operatorname{tg} \omega \sqrt{C_1 L_1} l \sin \omega t,$$

d'où

$$i = i_0 \frac{\sin \left(\omega \sqrt{C_1 L_1} l - \omega \sqrt{C_1 L_1} x\right)}{\sin \omega \sqrt{C_1 L_1} l},$$

et

$$f(x) = \frac{\sin \left(\omega \sqrt{C_1 L_1} l - \omega \sqrt{C_1 L_1} x\right)}{\sin \omega \sqrt{C_1 L_1} l}.$$

Les équations (10), (11) et (12) fournissent ainsi, tous calculs faits :

$$(13) \qquad R_e = \frac{R_0}{2} \left[\frac{1}{\sin^2 \omega \sqrt{C_0 L_0}} - \frac{\operatorname{cotg} \omega \sqrt{C_0 L_0}}{\omega \sqrt{C_0 L_0}}\right],$$

$$(14) \qquad L_e = \frac{L_0}{2} \left[\frac{1}{\sin^2 \omega \sqrt{C_0 L_0}} - \frac{\operatorname{cotg} \omega \sqrt{C_0 L_0}}{\omega \sqrt{C_0 L_0}}\right],$$

$$(15) \qquad C_e = C_0 \frac{1}{\left[\frac{\omega \sqrt{C_0 L_0} \operatorname{cotg} \omega \sqrt{C_0 L_0}}{2} + \frac{\omega^2 C_0 L_0}{2 \sin^2 \omega \sqrt{C_0 L_0}}\right]}.$$

Indiquons les valeurs de ces expressions dans deux cas particuliers :

1° Pour des fréquences très faibles, $\omega = 0$, elles deviennent

$$(16) \qquad \begin{cases} R_e = \dfrac{R_0}{3}, \\ L_e = \dfrac{L_0}{3}, \\ C_e = C_0. \end{cases}$$

2° Pour la fréquence fondamentale de l'antenne la réactance X (équation 6) s'annule; on a $\omega \sqrt{C_0 L_0} = \dfrac{\pi}{2}$. D'où

$$(17) \qquad \begin{cases} R_e = \dfrac{R_0}{2}, \\ L_e = \dfrac{L_0}{2}, \\ C_e = \dfrac{8}{\pi^2} C_0. \end{cases}$$

Ainsi, quand on passe des faibles fréquences à la fréquence fondamentale de l'antenne, la résistance (en négligeant le rayonnement et l'effet Kelvin) et l'inductance (en négligeant l'effet Kelvin) augmentent de 50 p. 100, tandis que la capacité diminue de 20 pour 100 environ. On prend souvent comme inductance et capacité efficaces pour la fréquence fondamentale les valeurs incorrectes $\frac{2}{\pi} L_0$ et $\frac{2}{\pi} C_0$ qui conduisent à la valeur incorrecte $L_e = \dfrac{L_0}{2}$ de l'inductance aux faibles fréquences.

4. *Circuit équivalent à constantes localisées.* — En ce qui concerne la fréquence ou la longueur d'onde, on peut utiliser pour leur calcul les formules simples relatives aux circuits à inductance et capacité localisées, en considérant comme constantes la capacité et l'inductance de la partie aérienne. On attribue à cette inductance et à cette capacité les valeurs qu'elles prennent pour de faibles fréquences (valeurs statiques), soit $\dfrac{L_0}{3}$ et C_0. L'inductance totale dans le cas d'une bobine ayant un coefficient d'auto-induction égal à L sera $L + \dfrac{L_0}{3}$ et la fréquence est donnée par

$$(18) \qquad f = \frac{1}{2\pi \sqrt{\left(L + \frac{L_0}{3}\right) C_0}},$$

et la longueur d'onde en mètres par

$$(19) \qquad \lambda = 1884 \sqrt{\left(L + \frac{L_0}{3}\right) C_0},$$

l'inductance étant exprimée en microhenrys et la capacité en microfarads. On peut se rendre compte de la précision de ces formules en comparant les résultats qu'elles donnent avec ceux de la formule exacte (8); la formule (18) donne pour la fréquence des valeurs qui sont correctes à moins de 1 pour 100, sauf quand on approche de la fréquence fondamentale de l'antenne, c'est-à-dire, sauf pour des valeurs très faibles de L; la formule conduit alors à des valeurs trop élevées de la fréquence. A ce degré de précision, amplement suffisant dans la plupart des cas pratiques, on peut donc représenter la partie aérienne de l'antenne par son inductance statique $\dfrac{L_0}{3}$ en série avec sa capacité statique C_0.

Dans un article reproduit dans un certain nombre de publications, L. Cohen a établi que l'emploi de la formule simple pour le calcul des longueurs d'ondes conduirait à des erreurs considérables si on l'applique à une antenne dont les caractéristiques varient uniformément. Les grandes erreurs trouvées par Cohen proviennent de ce qu'il a attribué à l'inductance de la partie aérienne la valeur L_0 au lieu de $\dfrac{L_0}{3}$.

5. *Détermination de la capacité statique et de l'inductance.* — Pour appliquer les formules (8) ou (18) il faut connaître les valeurs de L_0 et de C_0. On y parvient aisément par la méthode habituelle en insérant successivement deux bobines inductrices de self induction connues L_1 et L_2 et en mesurant, dans chaque cas, la longueur d'onde. En désignant par λ_1 et λ_2 ces longueurs d'onde, la formule (19) donne

$$(20) \qquad \frac{L_0}{3} = \frac{L_1 \lambda_2^2 - L_2 \lambda_1^2}{\lambda_1^2 - \lambda_2^2}.$$

Digitized by Google

La capacité C_0 se déduit de l'une des relations

$$(21)\quad \begin{cases} \lambda_1 = 1884\sqrt{\left(L_1 + \frac{L_0}{3}\right)C_0}, \\ \lambda_2 = 1884\sqrt{\left(L_2 + \frac{L_0}{3}\right)C_0}. \end{cases}$$

Ceci suppose que la formule (19) est rigoureuse.

En réalité il n'en est pas ainsi L'auteur cite un exemple où la valeur obtenue pour C_0 est précise, mais où l'erreur commise sur l'évaluation de $\frac{l_0}{3}$ atteint 7 pour 100. Cette précision suffit le plus souvent. On peut d'ailleurs effectuer sur la valeur obtenue une correction grâce aux tables indiquées par l'auteur.

6. *Détermination de la résistance, de l'inductance et de la capacité efficaces* — Quand une source d'oscillations non amorties située dans un circuit primaire induit un courant dans un circuit secondaire syntonisé, le courant dans le secondaire, pour une force électromotrice donnée, dépend uniquement de la résistance du circuit secondaire. Quand on produit, dans le primaire, des oscillations amorties, le courant, dans le secondaire, pour une force électromotrice donnée et un certain décrément du circuit primaire, dépend du décrément dans le secondaire, c'est-à-dire de la résistance et du rapport de la capacité à l'inductance Plus le décrément du circuit primaire est élevé par rapport au décrément du secondaire, et plus le courant dans le secondaire dépend de son propre décrément. Cela résulte d'une manière évidente de l'expression du courant I dans le circuit secondaire

$$I^2 = \frac{NE_0^2}{4fR^2\delta'\left(1 + \frac{\delta'}{\delta}\right)},$$

δ' désignant le décrément du primaire, δ delui du secondaire, R la résistance du secondaire, f la fréquence, E_0 l'amplitude maximum de la force électromotrice appliquée au primaire et N la fréquence du train d'ondes.

L'auteur déduit de ces considérations une méthode permettant de déterminer la résistance efficace, l'inductance et la capacité d'une antenne sous une fréquence donnée et ne nécessitant aucune modification de l antenne. Les connexions sont indiquées sur la figure 4, où S représente une bobine qui peut être mise à volonté dans le circuit d'une source d'oscillations amorties ou non amorties. La bobine L est la bobine inductrice de l'antenne qui peut être disposée sur le circuit de mesure contenant une inductance variable L', un condensateur variable C, et une résistance variable R'.

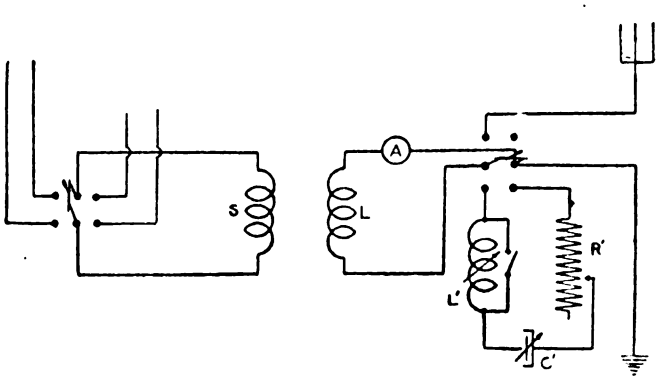


Fig. 4. — Disposition de circuits permettant de déterminer la résistance, l inductance et la capacite efficaces d'une antenne.

On accorde d'abord la source non amortie avec l'antenne et ensuite, le circuit $L'C'$ avec la source On fait varier la résistance R' jusqu'à ce que le courant soit le même dans les deux positions La résistance du circuit $L\,C'$ est alors égale à R_e, résistance efficace de la partie aérienne de l'antenne et on a $L\,C' = L_e\,C_e$. On accorde la source amortie avec l'antenne et on note la variation du courant quand on établit les connexions sur le circuit $L'\,C$ Si le courant augmente, la valeur de C' est supérieure à C_e et vice versa. En faisant varier simultanément L' et C', de manière à maintenir l'accord en laissant R' invariable, on peut régler le courant à la même valeur dans les deux positions. Comme l'on a

$$L'C' = L_eC_e,$$

$$\frac{C'}{L_e} = \frac{C_e}{L'}$$

la valeur de C' donne C_e et celle de L' donne L_e.

Pour éliminer la résistance du variomètre dans la détermination de R_e, on raccourcit le variomètre, et, utilisant des oscillations non amorties, on règle le circuit de résonance à égalité dans les deux positions en agissant sur R'. Alors, $R' = R_e$.

La mesure nécessite des sources constantes de courant à faible amortissement et à amortissement intense. On réalise facilement la première en prenant comme générateur un tube à vide. Un transformateur à résonance et un éclateur au magnésium fonctionnant sous une faible fréquence d'étincelle peuvent constituer d'une manière très satisfaisante la dernière source ; ou bien, il suffira de prendre une source simple dont l'amortissement puisse varier.

Il n'est pas difficile d'atteindre une précision de 1 pour 100.

IV. — La bobine inductrice. — La théorie indiquée précédemment peut être appliquée au calcul des effets d'une capacité uniformément répartie dans les bobines inductrices.

Sur la figure 5 on a représenté en (a) un solénoïde formé d'une couche simple, relié à un condensateur de capacité variable C. Les extrémités de la bobine sont en A et B, le milieu en D, et les condensateurs figurés en pointillés sont supposés représenter les capacités entre les diverses parties de la bobine. En (b), on a représenté la même bobine comme une ligne pourvue d'une inductance et d une capacité uniformément distribuées. Ces hypothèses ne sont qu'approchées, mais on peut les justifier par l'analogie bien connue des

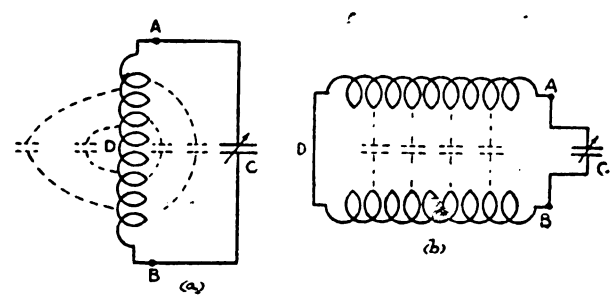


Fig. 5. — Bobine inductrice représentée comme une ligne pourvue d'une distribution uniforme de l'inductance et de la capacité.

Digitized by Google

oscillations dans les longs solénoïdes à celles d'une antenne simple.

1. *Réactance de la bobine.* — En utilisant la même notation que ci-dessus, on déterminera une expression de la réactance de la bobine ; on pose $x = 0$ aux bornes A, B et $x = l$ en D où l'on considère la ligne comme fermée. On applique les équations (3) et (4) en tenant compte des nouvelles conditions aux extrémités, c'est-à-dire $v = 0$ pour $x = l$. D'où

$$A \cos \omega \sqrt{C_1 L_1}\, l = - B \sin \omega \sqrt{C_1 L_1}\, l,$$

et pour $x = 0$,

$$v_0 = A \cos \omega t = - B \operatorname{tg} \omega \sqrt{C_1 L_1}\, l \cos \omega t,$$

$$i_0 = - \sqrt{\frac{C_1}{L_1}}\, B \sin \omega t,$$

qui donne pour la réactance de la bobine considérée à partir des bornes A, B,

$$X = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} \operatorname{tg} \omega \sqrt{C_1 L_1}\, l.$$

ou

$$X' = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \operatorname{tg} \omega \sqrt{C_0 L_0}. \tag{22}$$

2. *Fréquences naturelles d'oscillation.* — Aux basses fréquences la réactance de la bobine est très faible et positive, mais elle augmente avec la fréquence et devient infinie pour $\omega \sqrt{C_0 L_0} = \frac{\pi}{2}$. Cette relation donne la plus faible fréquence d'oscillation naturelle de la bobine quand les extrémités sont ouvertes. Au-dessus de cette fréquence la réactance est fortement négative, s'approchant de zéro pour la fréquence $\omega \sqrt{C_0 L_0} = \pi$. Dans cet intervalle de fréquences la bobine se comporte comme un condensateur et nécessite la présence d'une inductance entre ses bornes pour constituer un circuit résonant. A la fréquence $\omega \sqrt{C_0 L_0}$ la bobine oscillera avec ses bornes mises en court-circuit. Quand la fréquence augmente à nouveau, la réactance devient positive et croissante.

3. *Condensateur entre les bornes.* — Les fréquences naturelles d'oscillation de la bobine reliée à un condensateur de capacité C sont données par la condition que la réactance totale du circuit soit nulle

$$X' + X_c = 0,$$

d'où l'on a

$$\sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \operatorname{tg} \omega \sqrt{C_0 L_0} = \frac{1}{\omega C}$$

ou

$$\frac{\operatorname{cotg} \omega \sqrt{C_0 L_0}}{\omega \sqrt{C_0 L_0}} = \frac{C}{C_0}. \tag{23}$$

Cette expression est analogue à l'expression (8) obtenue dans le cas d'une antenne en charge, sauf la substitution de $\frac{C}{C_0}$ à $\frac{L}{L_0}$ dans le membre de droite et elle indique que la fréquence diminue et que la longueur d'onde augmente quand on fait croître la capacité entre les bornes de la bobine.

4. *Circuit équivalent avec constantes localisées.* — Il est intéressant d'étudier les valeurs efficaces de l'inductance et de la capacité d'une bobine aux fréquences très faibles. En développant en série l'expression de la tangente dans la relation (22), on a

$$X' = \omega L_0 \left(1 + \frac{\omega^2 C_0 L_0}{3} + \dots \right),$$

ce qui, en négligeant les termes d'exposant élevé, s'écrit

$$X' = \frac{(\omega L_0) \left(- \frac{3}{\omega C_0} \right)}{\omega L_0 - \frac{3}{\omega C_0}}.$$

C'est la réactance d'une inductance L_0 en parallèle avec une capacité $\frac{C_0}{3}$, ce qui montre qu'aux faibles fréquences la bobine peut être considérée comme une inductance L_0, avec une capacité $\frac{C_0}{3}$ branchée entre les bornes et, par suite, en parallèle avec le condensateur C. Comme, aux faibles fréquences, le courant est uniforme dans la bobine tout entière, il est évident que l'inductance doit être L_0.

L'analogie entre les équations (23) et (8) montre que la fréquence d'oscillation d'une bobine aux bornes de laquelle on dispose une capacité C quelconque est donnée par la formule

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_0 \left(C + \frac{C_0}{3} \right)}}. \tag{24}$$

Cette expression donne d'ailleurs *également* la fréquence pour une bobine d'inductance L_0, aux bornes de laquelle on dispose une capacité $\frac{C_0}{3}$ et qui est en parallèle avec une capacité extérieure C. Donc, en ce qui concerne les expressions de la fréquence, une bobine inductrice à capacité uniformément distribuée est étroitement équivalente, pour toute fréquence, à une inductance pure, égale à l'inductance pour les faibles fréquences (on néglige l'effet Kelvin), aux bornes de laquelle on dispose une capacité constante. Ceci est un résultat d'expérience bien connu (1), au moins dans le cas de solénoïdes à couche unique.

A. B.

(1) G.-W.-O. Howe. *Phys. Soc. London*, 1912, t. XXIV, p. 251 ; F.-A. Kolster. *Proc. Inst. Radio Eng.*, 1913, t. I, p. 19 ; J.-C. Hubbard. *Phy. Rev.*, 1917, t. IX, p. 529.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

L'éclairage des écoles

Les questions générales d'éclairage sont l'objet, aux Etats-Unis, d'études importantes que leurs auteurs ne manquent pas de communiquer à la puissante association que les ingénieurs éclairagistes ont formée, il y a déjà une dizaine d'années, sous le nom de « Illuminating Engineering Society » et que celle-ci publie dans ses « Transactions ». A l'instigation de cette association qui s'occupe aussi bien de l'éclairage par le gaz que de l'éclairage par l'électricité, un certain nombre de sujets spéciaux ont été particulièrement étudiés. Le plus important, parce qu'il sert de base aux autres, est celui de la nomenclature des grandeurs et unités électriques dont nous avons plusieurs fois entretenu nos lecteurs et sur lequel nous aurons l'occasion de revenir ultérieurement lorsque le Comité français de l'Eclairage aura pris des décisions à cet égard. Un autre sujet, encore en cours d'étude, bien qu'il ait déjà donné lieu à d'intéressantes communications, est relatif aux meilleures conditions d'éclairage des ateliers et locaux industriels. On trouvera, dans l'article ci-dessous, l'exposé d'un troisième sujet étudié par « l'Illuminating Engineering Society », l'éclairage des locaux scolaires, pour lequel cette Société a rédigé un code. L'auteur a fait précéder la traduction qu'il donne de ce code de quelques brèves considérations sur la mesure des éclairements et sur les valeurs qu'il convient de prendre pour ces éclairements dans le cas spécial de l'éclairage des locaux scolaires.

L'éclairage rationnel des locaux scolaires a fort attiré, ces dernières années, l'attention des hygiénistes. Il est inutile de souligner l'importance du problème à notre époque où, par suite du travail intensif des écoliers et du nombre d'heures considérable qu'ils passent en classe, à lire ou écrire dans des conditions d'éclairage parfois défectueuses, se multiplient les affections oculaires; la myopie, en particulier, est une maladie du siècle contre laquelle il est d'un devoir humain et d'un intérêt national de lutter.

Les questions d'éclairage ont été longuement étudiées en Angleterre et en Amérique; on trouve l'écho de ces préoccupations dans les « Proceedings of Illuminating Engineering Society ». En France, nos techniciens les ont peut-être un peu trop négligées. C'est à leur intention que nous avons résumé les principes scientifiques dont nous paraît pouvoir s'inspirer tout ingénieur chargé d'une installation d'éclairage dans des locaux scolaires. Nous donnons également l'adaptation du « Code of Lighting », publié en 1917 par l'Illuminating Engineering Society.

I. — Mesure des éclairements.

Définition. — L'étude de tout éclairage se ramène à la mesure et à la comparaison d'éclairements.

Rappelons qu'on appelle *éclairement*, en un point d'une surface, le rapport du flux lumineux $d\Phi$ qui tombe sur un petit élément de surface, à l'aire dS de cet élément

$$e = \frac{d\Phi}{dS}.$$

Comme unité d'éclairement, on prend parfois le *phot* qui correspond à un flux d'un *lumen* [1] réparti sur un *centimètre carré*; plus souvent, du moins dans les évaluations que nous avons en vue, le *lux* que produit un flux d'un *lumen* réparti sur un *mètre carré*. Le lux peut encore être défini comme l'éclairement produit par une source d'intensité égale à une bougie sur un petit élément de surface normal à la direction des rayons lumineux et situé à un mètre de la source; d'où le nom de *bougie-mètre* qu'on donne quelquefois au lux; mais cette dénomination ne paraît pas très heureuse [2] et nous ne la signalons que pour mémoire.

Mesures photométriques. — On sait que les comparaisons d'éclairements s'effectuent au moyen d'appareils appelés photomètres. La plupart de ces appareils, qu'on trouvera décrits dans tous les traités de physique [3], sont d'un maniement délicat et ne se prêtent pas commodément à la comparaison rapide des éclairements aux divers points d'une salle de classe ou d'un atelier.

Nous nous bornerons à décrire ici quelques *photomètres d'acuité* que leur simplicité rend d'un emploi très

(1) Le *lumen*, proposé comme unité en 1894 par M. Blondel, est le flux lumineux qu'envoie dans un angle solide égal à l'unité une source ponctuelle d'intensité égale à une bougie.

(2) Voir, en particulier, A. Blondel; Grandeurs et unités photométriques, *La Lumière électrique*, 7 juillet 1894, t. LIII, p. 7-15.

(3) Nous croyons pouvoir recommander au lecteur qu'intéresseraient plus particulièrement les problèmes relatifs à la vision et à l'éclairage, l'excellent ouvrage de M. Bouasse, *Vision et reproduction des formes et des couleurs*, où les applications tiennent une large place.

Digitized by Google

aisé et qui peuvent couramment servir aux mesures d'éclairements dans les locaux scolaires, mesures pour lesquelles une grande précision n'est pas nécessaire.

1° Le photomètre du professeur Truc (de l'Université de Montpellier), basé sur l'emploi de milieux absorbants, se compose essentiellement de textes imprimés uniformes dont la lisibilité, pour un même observateur placé à une distance fixe, varie avec l'éclairement du milieu.

Le schéma en est donné en figure 1. Dans un cadre (23 cm × 17 cm) se trouve le texte choisi, répété cinq fois, et recouvert successivement par une, deux, trois, quatre et cinq lames de verre fumé, d'égale épaisseur et de même teinte. Il en résulte que le texte recouvert d'une seule lame de verre demandera, pour être lisible, une quantité de lumière beaucoup moins considérable que celui recouvert de plusieurs lames.

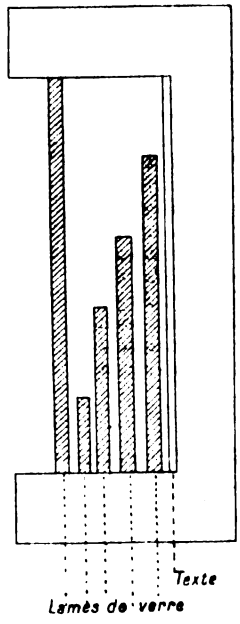


Fig. 1. — Photomètre du Pr Truc (vue de profil).

Un petit cordonnet long de 33 cm, dont l'extrémité libre doit être maintenue contre l'orbite de l'observateur, est fixé sur l'un des côtés de l'appareil et règle la lecture des textes à la distance ordinaire du travail.

Cet instrument présente toutefois, dans certaines incidences, une réflexion gênante de la lumière sur les lames de verre. On l'atténuerait en remplaçant les lames par des feuilles de gélatine. On pourrait également y remédier en laissant le texte à nu et en plaçant le verre progressivement teinté devant les yeux sous forme de lunettes graduées. Mais le système actuel, suffisamment exact, permet d'opérer plus rapidement.

Le photomètre doit être gradué par l'observateur lui-même dans une chambre obscure au moyen d'un étalon approprié : bougie de l'Étoile, lampe Hefner, lampe Carcel, etc. ;

2° Le Dr Katz (de l'Université de Pétrograd) a décrit en 1910 un photomètre permettant de rechercher si l'éclairage est suffisant pour chacun de sindividus qui ont à l'utiliser, en tenant compte d'ailleurs de la nature de leurs occupations. D'après lui, la *réserve de lumière* nécessaire au travail doit être les $\frac{25}{25}$ de l'éclairage, c'est-à-dire que l'éclairage de la table de travail doit être 25 fois plus fort que l'éclairage nécessaire pour la simple perception de l'objet du travail.

Des verres fumés absorbant les $\frac{24}{25}$ de la lumière incidente, enchâssés dans une monture, constituent le mesureur de la réserve de lumière (fig. 2). Des caractères d'essais, permettant de s'assurer que la réserve de lumière est suffisante, sont annexés à l'appareil.

Ce sont des lettres de trois dimensions :

1° Hauteur 0,6 mm et 0,7 mm, exigeant 3/7 d'acuité visuelle et correspondant aux plus fins travaux : broderie, gravure ;

2° Hauteur de 1 mm pour acuité visuelle de 1/2 et travaux manuels de couture, dessin, etc ;

3° Hauteur 1,5 mm, exigeant une acuité visuelle de 1/3 pour lecture, écriture, etc.

Ce sont ces derniers caractères qui, à travers les verres fumés du photomètre, doivent pouvoir être lus à toutes les places de la classe par tous les élèves.

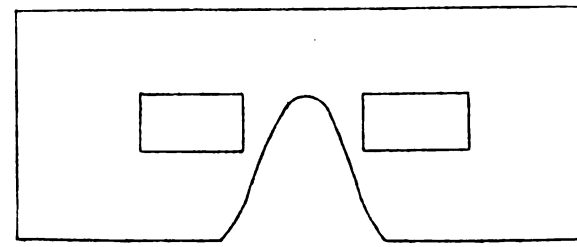


Fig. 2. — Photomètre individuel de Katz : monture encastrant les verres fumés.

Nous ne décrirons pas ici d'autres photomètres. Citons simplement parmi ceux qui ont été employés dans les écoles : le photomètre de Landolt, dont le principe repose sur le fait que l'éclairage d'un point quelconque est proportionnel à la valeur de l'acuité visuelle ; le photomètre d'Imbert basé comme celui de Truc sur l'emploi de milieux absorbants (1).

II. — Qualités d'un bon éclairage artificiel.

Intensité de l'éclairage. — La lumière artificielle doit présenter certaines qualités indispensables, en particulier fournir un éclairement suffisant dont la valeur a été fixée à 10 lux par les recherches photométriques d'un certain nombre d'auteurs.

Pratiquement les éclairements restent très inférieurs à ce maximum, surtout dans les salles de classe éclairées encore au gaz ou au pétrole.

Les recherches du professeur Truc, effectuées en 1904, dans les écoles de Montpellier, dont l'éclairage ne paraissait pas inférieur à celui de la plupart des écoles françaises, montrent combien l'éclairage fourni à nos écoliers était insuffisant : dans la classe la plus favorisée l'éclairement était de 4,5 lux ; la moyenne, pour toutes les écoles de Montpellier, oscillait entre 2 et 3 lux. Au moment où le professeur Truc effectuait ses recherches, les écoles n'étaient pas encore pourvues de becs Auer ; il est certain que l'adoption de ce perfectionnement, réclamé par l'auteur, a amené depuis une

(1) Voir en particulier : Prof. Truc. *Hygiène oculaire et inspection des écoles*, Paris 1911 ; Espinouze, *Essai sur le photomètre scolaire* (thèse de médecine, Montpellier, 1912).

Digitized by Google

notable amélioration. L'emploi généralisé de l'éclairage électrique permettra, sans nul doute, de nouveaux progrès.

Peut-être n'y a-t-il pas intérêt toutefois à prendre des éclairages trop intenses. Citons à ce propos les très judicieuses remarques de M. Bouasse (1) :

« Javal préconise l'éclairage artificiel le plus intense possible. La pupille se contracte, dit-il ; par suite un œil médiocre se trouve amélioré. Au surplus, on reste toujours au-dessous de l'éclairage diurne qui, *évidemment*, est le meilleur.

» J'avoue que ces sortes de raisonnements me paraissent faux. Nous n'avons pas été créés pour lire du matin au soir; il est douteux que la lecture intensive soit d'ordre préétabli. Si, par dessus le compte, nous passons nos nuits à lire, il me paraît singulier de conclure qu'il faut prolonger le jour le plus exactement possible. Certes il doit exister pour chacun de nous un éclairement optimum; mais j'admets difficilement qu'il soit de plusieurs milliers de bougies-mètres. A qui fera-t-on croire qu'il soit utile de mettre un arc dans sa chambre à coucher sous le prétexte que c'est à peu près le seul moyen de réaliser l'éclairage diurne. »

L'éclairage artificiel, outre qu'il doit être d'une intensité suffisante doit fournir une lumière aussi diffuse que possible, fixe et régulière, pauvre en rayons ultra-violets, dégageant peu de chaleur et fournissant le minimum de produit de combustion.

Voici ce qu'écrit le professeur Gariel sur l'*élévation de la température* et la *viciation de l'air*, provoquées par les diverses sources de lumière : « Considérons une pièce d'une capacité moyenne, 50 m³ par exemple, et supposons qu'il n'y ait aucune déperdition de chaleur, condition qui ne peut se réaliser, bien entendu ; éclairons cette chambre avec des foyers ayant tous le même pouvoir éclairant. Connaissant par de nombreuses expériences la valeur moyenne de la chaleur dégagée par la combustion de la cire, de l'huile, du pétrole et du gaz d'éclairage, on a pu calculer l'élévation de température que subirait l'air après un temps donné.

» On a trouvé que, après une heure, l'élévation de température serait :

Pour la bougie	51°,5
Pour le gaz	39°,3
Pour l'huile	25°,5
Pour le pétrole	22°,5
Pour une lampe à incandescence	2°,6
Pour une lampe à arc	1°,3.

» Le dernier nombre est sans intérêt au point de vue qui nous occupe, car jamais une lampe à arc n'est employée pour l'éclairage à petite distance, mais on voit l'avantage considérable de la lampe à incandescence. On peut dire que, à cause des pertes de chaleur qui existent toujours, la lampe à incandescence peut être considérée, au point de vue pratique, comme ne produisant aucune élévation de température même à très petite distance et c'est bien ce que l'observation justifie.

(1) H. Bouasse, *loc. cit.*, p. 221.

» Si nous nous plaçons au point de vue de la composition de l'air, nous rappellerons que de petites variations dans la proportion de l'oxygène sont sans importance; qu'il en est de même pour les grandes variations de la vapeur d'eau; mais que, pour l'anhydride carbonique, une élévation même faible du taux de ce gaz amène une gêne de la respiration et peut même produire des désordres graves. Aussi nous suffira-t-il de nous occuper de ce dernier élément.

» On a évalué la production d'anhydride carbonique pour obtenir un pouvoir éclairant de 1 carcel pendant une heure :

Par l'emploi de bougies à	105 litres
de pétrole à	95 id.
de gaz à	88 id.
d'huile à	60 id.

ce qui correspondrait pour une pièce de 50 m³ à ces proportions :

Pour l'emploi de bougies de	0,0021
de pétrole de	0,0019
de gaz de	0,0017
d'huile de	0,0012

alors que la proportion normale est 0,0004 (quatre dix millièmes).

» Pour la lampe électrique à incandescence, la question ne se pose même pas, car il n'y a pas de combustion; il n'y a pas modification de l'atmosphère. »

Répartition des sources lumineuses. — La *disposition des sources* doit être telle que les rayons lumineux ne frappent pas directement les yeux, qu'elles ne provoquent pas d'ombre portée et qu'elles ne chauffent pas la tête de l'écolier placé au-dessous d'elles.

Il y a là un ensemble de conditions qui seront souvent difficiles à obtenir. « En principe, écrivent Méry et Genévrier (1), les sources de lumière doivent être placées à 1 m au moins au-dessus des tables, ou à 0,50 m au-dessus de la tête des élèves se tenant debout, ce qui est une distance à peine suffisante, surtout quand il s'agit de foyers dégageant beaucoup de chaleur, comme les lampes à pétrole. »

Nous avons déjà indiqué, en passant, un certain nombre d'avantages de l'électricité sur les autres modes d'éclairage. Signalons encore que l'électricité permet la multiplication des sources de lumière sans production de gaz nocifs et presque sans dégagement de chaleur. L'idéal serait de réaliser l'éclairage individuel, ce que permet seulement l'électricité; on pourrait fixer une lampe à chaque table, ou mieux, la suspendre par un fil soupe en avant et à gauche de l'élève. Une telle installation existe, à Paris, à l'Ecole Polytechnique. On la trouve également dans les salles d'étude du lycée de Tours. L'éclairage indirect ou par lumière diffuse a réuni, ces dernières années, un grand nombre d'adeptes

(1) Méry et Genévrier, *Hygiène scolaire*. A. Colin, éd., Paris.

Digitized by Google

et il a été installé dans plusieurs établissements d'enseignement secondaire, en particulier au lycée d'Aix et au lycée Montaigne, à Paris, et aussi à l'école de Saint-Cyr. On utilise le plus souvent, pour cet éclairage, les lampes à arc; le foyer lumineux est complètement masqué, de toutes les places de la classe, par un réflecteur dont la concavité est tournée vers le plafond; celui-ci, qui doit être d'un blanc pur, réfléchit et diffuse la lumière.

Peut être d'ailleurs cet engouement pour l'éclairage diffus n'est-il pas très justifié. Mentionnons encore l'opinion de M. Bouasse exprimée sous la forme rude et franche qui constitue un des charmes de ses ouvrages : « L'éclairage du jour est incomparablement plus grand que l'éclairage artificiel, nous qualifions celui-ci d'*a giorno* quand nous le trouvons admirable. Même alors il ferait piètre mine devant celui d'un jour assez gris. Il ne doit son éclat apparent qu'au contraste. Tous nous savons combien un abat-jour, qui plonge une salle dans l'obscurité, augmente l'éclat apparent du texte placé dans le champ qu'il limite; et cela, même s'il ne réfléchit pas. Il fallait être bête comme un médecin en mal de découvertes physiques, pour préconiser l'éclairage diffus par réflexions sur le plafond. Par ce système on diminue à la fois l'éclairage réel et l'éclairage apparent; double bénéfice comme on voit. » (1).

Sans insister davantage sur les conditions particulières à réaliser, on se rendra facilement compte qu'un bon éclairage doit : 1° être du rendement maximum pour une dépense minimum; 2° donner une lumière uniforme, diffuse et d'une coloration convenable; 3° assurer une parfaite protection des yeux.

Les quelques indications que nous venons de fournir établissent la nécessité d'aborder scientifiquement le problème de l'éclairage des écoles, en tenant compte des prescriptions de l'hygiène et des progrès de la technique. A ce point de vue les règles énoncées par l'Illuminating Engineering Society dont nous allons donner maintenant la traduction fourniront d'utiles indications aux ingénieurs chargés des installations d'éclairage dans les écoles.

III. Prescriptions concernant l'éclairage des locaux scolaires.

A. — **Code de l'éclairage.** — Article premier. — Prescriptions générales. Pendant les heures où la lumière du jour est insuffisante, les locaux doivent être pourvus d'un éclairage artificiel satisfaisant aux prescriptions indiquées dans les articles suivants.

A l'avenir les locaux devraient être construits de manière que la lumière du jour, à toutes les places occupées par les élèves, soit à peu près uniforme, et que les places les plus sombres soient éclairées d'une manière suffisante quand la lumière du jour est normale à l'extérieur (2).

(1) H. Bouasse, *loc. cit.*, p. 221.

(2) Les valeurs de l'éclairement devraient être au moins doubles de celles indiquées à l'article 2, pour un éclairage artificiel.

Art. 2. — Intensité de l'éclairage artificiel. — Les valeurs de l'éclairement désirables pour un bon éclairage et les valeurs minima, d'après les meilleurs données actuelles, sont indiquées dans le tableau I (1).

Tableau I. — *Éclairement désirable et éclairement minimum.*

	Éclairement en lux	
	minimum	pratique courante (a)
Entrepôts	3	5 — 11
Escaliers, corridors	5	11 — 27
Gymnases	11	21 — 54
Ateliers pour travaux grossiers	13	21 — 43
Salles de réunion	16	27 — 43
Salles de classe, salles d'étude, bibliothèques, laboratoires, tableaux noirs	32	38 — 64
Ateliers pour travaux délicats	38	43 — 86
Salles de couture, de dessin	54	64 — 130

(a) La valeur la plus forte est préférable à l'autre; quand on ne recherche pas l'économie, des éclairements supérieurs à ceux indiqués sont souvent à recommander.

Art. 3. — Eclat des lampes. — Les lampes doivent être convenablement voilées afin de réduire au minimum l'éblouissement qu'elles produisent sur l'œil. Un éclat trop intense, soit des lampes, soit des surfaces réfléchissantes est fatiguant pour l'œil.

Art. 4. — Répartition de la lumière sur le plan de travail. — Les lampes doivent être disposées de manière à assurer une bonne répartition de la lumière sur les plans de travail, évitant les ombres malencontreuses et les contrastes trop vifs.

Art. 5. — Couleur des parois — Les murs doivent avoir un pouvoir réflecteur assez faible : les couleurs préférables sont le gris clair, le chamois clair, le crème sombre et le vert-olive clair. Les plafonds et les frises doivent avoir un pouvoir réflecteur élevé; les couleurs préférables sont le blanc et le crème clair. Les pupitres, les boiseries doivent être d'une teinte sombre.

Art. 6. — Interrupteurs et appareils de commande. — Dans les sous-sols, les escaliers, les magasins et les autres parties des locaux où ils sont installés, les interrupteurs et dispositifs de commande doivent être placés à l'entrée.

Art. 7. — Eclairage de secours — Un éclairage de secours doit être prévu dans les escaliers principaux et

(1) L'éclairement doit être mesuré sur le plan important qui peut être le sommet du pupitre, le tableau noir, etc.

La méthode à suivre pour le calcul des flux lumineux (lumens) nécessaires pour réaliser un éclairement donné est décrite au paragraphe ayant pour titre « Projet des installations d'éclairage ».

Digitized by Google

les escaliers de sortie pour le cas où, par suite d'un accident, l'éclairage régulier viendrait à manquer.

ART. 8. — INSPECTION ET ENTRETIEN. — Tous les appareils d'éclairage doivent être entretenus en bon état afin d'éviter les dégâts dus à l'accumulation de la poussière, aux lampes brûlées et autres causes. Pour assurer un entretien convenable, des inspections fréquentes et à intervalles réguliers sont nécessaires.

B. — **Lumière artificielle.** — SYSTÈMES D'ÉCLAIRAGE. — On divise habituellement les systèmes d'éclairage artificiel en trois groupes : *direct*, *semi-indirect* et *indirect*. Cette classification est arbitraire et les limites des diverses catégories sont mal définies.

Un système d'éclairage *direct* est celui dans lequel la plus grande partie de la lumière atteint le plan de travail directement à partir de la source (y compris l'appareillage qui peut être constitué par un réflecteur opaque ou en verre ou une enveloppe transparente ou translucide l'entourant entièrement). On distingue dans les systèmes d'éclairage direct, les systèmes d'éclairage localisé et les systèmes d'éclairage général. Dans le premier cas les lampes sont disposées de manière à éclairer plus particulièrement les endroits où l'on travaille ; dans le deuxième, de manière à éclairer la surface tout entière plus ou moins uniformément.

Un système d'éclairage *semi-indirect* est celui dans lequel une certaine proportion de la lumière partie de la source atteint directement le plan de travail, une proportion relativement importante l'atteignant indirectement, par réflexion sur le plafond et les parois. On associe généralement à la lampe une coupe diffusante ou un réflecteur en verre qui renvoient la lumière par le haut. L'éclairage s'approche de l'éclairage direct ordinaire quand le coefficient de transmission du verre est élevé ; il s'approche de l'éclairage indirect quand ce coefficient est faible.

Un système d'éclairage *indirect* est celui dans lequel pratiquement toute la lumière atteint le plan de travail indirectement, après réflexion sur le plafond ou les parois. L'habillage de la source comprend encore une coupe ou un abat-jour renversés, mais opaques ou à peine translucides et recouverts d'une substance réfléchissante.

Dispositifs de protection des yeux. Sauf dans des cas très rares, il ne convient pas de laisser les yeux exposés à la vue des sources de lumières nues. Celles-ci doivent être toujours convenablement voilées. Même quand elles sont voilées par des milieux translucides, par exemple, des cristaux denses, les sources doivent être disposées bien en dehors du champ de la vision ; autrement dit, il est recommandé de prendre des sources d'un faible éclat (1).

(1) Il est bon de ne pas dépasser 250 millilamberts. (Rappelons que le lambert est l'éclat d'une surface dont 1 cm² renvoie, par réflexion ou diffusion, un flux d'un lumen ; le millilambert correspond donc à 10 lumens : m²

Le tableau suivant indique l'ordre de grandeur des éclats de quelques sources lumineuses d'usage courant :

	Éclat approché en millilamberts.
Éclairage indirect :	
Plafond, directement au-dessus de la source.	5 à 75
Éclairage semi-indirect :	
Appareillage en verre lourd	35 à 100
Appareillage en verre léger	200 à 1 000
Éclairage direct :	
Globe de verre opale (25 cm) contenant en son centre une lampe à vide à filament de tungstène de 100 watts	500
Lampe à vide à filament de tungstène dans un réflecteur ouvert vers le bas	2 000 à 3 000
Lampe à vide et filament de tungstène, filament exposé à la vue	500 000
Lampe à atmosphère gazeuse et filament de tungstène, filament exposé à la vue	2 000 000
Manchon à gaz, nu	15 000
Manchon à gaz, enfermé dans un globe en verre opale de 15 cm	1 000
Arc au mercure (verre)	8 900
Lumière du jour : ciel clair	1 000

Le rapport maximum des éclats de deux surfaces contiguës dans le champ de la vision doit, autant que possible, ne pas dépasser 20 ; c'est-à-dire que l'éclat de la partie la plus sombre ne doit pas être inférieur au 1/20 de l'éclat de la partie la plus brillante.

Les surfaces brillantes du papier, des boiseries, des pupitres, des murs et des tableaux noirs constituent vraisemblablement une cause de fatigue pour les yeux par suite de la réflexion spéculaire des rayons émanés des sources de lumière, surtout dans le cas de l'éclairage artificiel. On recommande de prendre des surfaces mates ou ternes. A noter qu'un coefficient de réflexion élevé n'implique pas nécessairement une surface polie ou brillante.

Pour réduire au minimum la fatigue des yeux il est recommandé d'employer pour l'impression des livres de classe du papier mat.

Il faudrait apprendre aux enfants à tenir les livres dans une position convenable, à se placer eux-mêmes correctement par rapport aux sources de lumière et à ménager leur vision.

PROJET D'UNE INSTALLATION D'ÉCLAIRAGE. — L'éclairement sur le plan de travail horizontal doit être aussi uniforme que possible. Le rapport des éclairements ne doit pas dépasser 4. (1)

Les principaux facteurs à envisager pour déterminer le nombre de lampes à utiliser dans une salle donnée sont : 1° la surface du plancher ; 2° le flux lumineux total

(1) Ce rapport est relatif à la lumière reçue par l'objet éclairé et ne doit pas être confondu avec le rapport 20 : 1 antérieurement indiqué comme maximum pour le contraste des éclats, qui se rapporte à la lumière rayonnée par l'objet. Par exemple, un tableau noir et une feuille de papier blanc posée sur lui peuvent recevoir la même quantité de lumière, mais la feuille de papier réfléchira beaucoup plus de lumière que le tableau, d'où un contraste d'éclat marqué entre les deux surfaces.

Digitized by Google

émis par la lampe; 3° le *coefficient d'utilisation* du système particulier considéré. La surface sera mesurée en mètres carrés. Le flux lumineux est indiqué sur le catalogue des fabricants de lampes. Le troisième facteur dépend de plusieurs autres, tels que les dimensions de la salle, le pouvoir réflecteur des parois, le nombre des sources et leur hauteur, le système d'éclairage. Par *coefficient d'utilisation* on entend la proportion du flux lumineux total émis par les lampes qui agit efficacement sur le plan de travail. On a indiqué dans le tableau II les coefficients d'utilisation approximatifs pour une installation d'éclairage moderne. Le plan de travail, dans ce cas, est un plan horizontal situé à 76 cm au-dessus du plancher. Ces valeurs sont relatives à l'installation initiale sans qu'il soit tenu compte de l'usure.

Pour déterminer approximativement les dimensions et le nombre des lampes nécessaires à l'éclairage d'une salle donnée, au moyen des coefficients d'utilisation indiqués dans le tableau II, il est nécessaire de connaître le flux lumineux produit par watt pour les lampes électriques ou par mètre cube de gaz brûlé à l'heure dans le cas de lampes à gaz d'éclairage. A l'heure actuelle (1917), le flux lumineux des lampes à incandescence à filament de tungstène, d'après les conditions moyennes de service des installations entretenues régulièrement, varie de 8 lumens par watt pour les plus petites lampes à tungstène à vide, à 14 lumens par watt pour les plus grandes lampes à filament de tungstène et atmosphère gazeuse employées dans l'éclairage des écoles. Pour l'éclairage par l'incandescence au gaz, les valeurs obtenues d'après les conditions du service courant varient de 5 000 à 8 000 lumens par mètre cube de gaz brûlé à l'heure.

TABLEAU II. — *Coefficients d'utilisation approximatifs. Installation d'éclairage moderne.*

	MURS de couleur pâle PLAFOND de couleur pâle	MURS de teinte moyenne PLAFOND de couleur pâle
I. *Petites salles* (offices, corridors, etc.) :		
Eclairage direct, réflecteurs ouverts vers le bas.....	0,40	0,35
Eclairage semi-indirect.....	0,25	0,22
Eclairage indirect.....	0,23	0,20
II. *Salles de dimensions moyennes* (salles de classe, laboratoire, etc.) :		
Eclairage direct, réflecteurs ouverts vers le bas.....	0,50	0,45
Eclairage semi-indirect.....	0,35	0,30
Eclairage indirect.....	0,30	0,25
III. *Grandes salles* (salles de réunion, etc.) :		
Eclairage direct, réflecteurs ouverts vers le bas.....	0,60	0,60
Eclairage semi-indirect.....	0,45	0,40
Eclairage indirect.....	0,40	0,38

En désignant par N le nombre de lampes, par Φ le flux total en lumens produit par lampe, par k le coefficient d'utilisation, par S la surface du plancher ou du plan horizontal de travail en mètres carrés, par E l'éclairement en lux, on aura

$$E = \frac{N\Phi k}{S}.$$

Si l'on se propose de déterminer la puissance des lampes à utiliser on tirera Φ de la relation précédente

$$\Phi = \frac{ES}{kN}.$$

Pour donner un exemple, considérons une salle dont le plancher (qui constitue en même temps le plan de travail) mesure 9 m sur 6 m et qu'on veut éclairer au moyen de six suspensions comprenant une lampe chacune. Supposons également que le plafond soit fortement réfléchissant, les murs modérément réfléchissants et qu'on désire assurer un éclairement de 50 lux. Le flux lumineux que devra fournir chacune des six lampes sera

$$\Phi = \frac{50 \times 6 \times 9}{0{,}30 \times 6} = 1\,500 \text{ lumens environ.}$$

En prévoyant un facteur d'usure de 20 pour 100, relatif à une installation bien entretenue, le nombre de lumens réellement nécessaires serait $\frac{1\,500}{0{,}8} = 1\,875$ lumens. Si l'on considère des lampes à filament de tungstène et atmosphère gazeuse pour lesquelles le flux produit soit en moyenne de 12 lumens par watt, on voit qu'une lampe de 150 w pour chaque suspension fournira les résultats voulus.

Avec l'éclairage par l'incandescence au gaz, si le flux lumineux dans les conditions envisagées est de 8 000 lumens pour 1 m³ de gaz brûlé à l'heure, il faudra pour chaque suspension une lampe brûlant 175 litres de gaz par heure.

On voit par l'exemple précédent comment on pourra conduire le calcul dans un cas pratique déterminé.

Avec les appareils d'éclairage habituels, la distance entre les lampes ne doit pas dépasser une fois ou une fois et demie la hauteur des lampes au-dessus du plan d'utilisation de la lumière.

TABLEAUX NOIRS. — Les tableaux noirs doivent avoir les plus faibles dimensions possibles et ne pas être disposés entre les fenêtres. Leur emplacement doit être choisi de manière que les rayons provenant des sources artificielles ou naturelles ne viennent pas rencontrer les yeux des auditeurs, après réflexion sur la surface du tableau. La surface doit être aussi mate que possible.

On peut réduire ou éliminer cet éclat éblouissant dû à la réflexion sur les tableaux noirs en éclairant les tableaux au moyen de sources artificielles convenablement disposées.

Les figures 3 (*a*, *b*, *c*) illustrent les considérations précédentes. On a représenté, en (*a*), le plan d'une salle munie de fenêtres sur un des côtés; les rayons lumineux

Digitized by Google

supposés venir du ciel se projettent horizontalement en A, B et C; on voit que les élèves situés dans la partie ombrée recevront directement les rayons réfléchis par le tableau. En (*b*) on a représenté, en projection verticale, les conditions précédentes; on voit qu'en inclinant

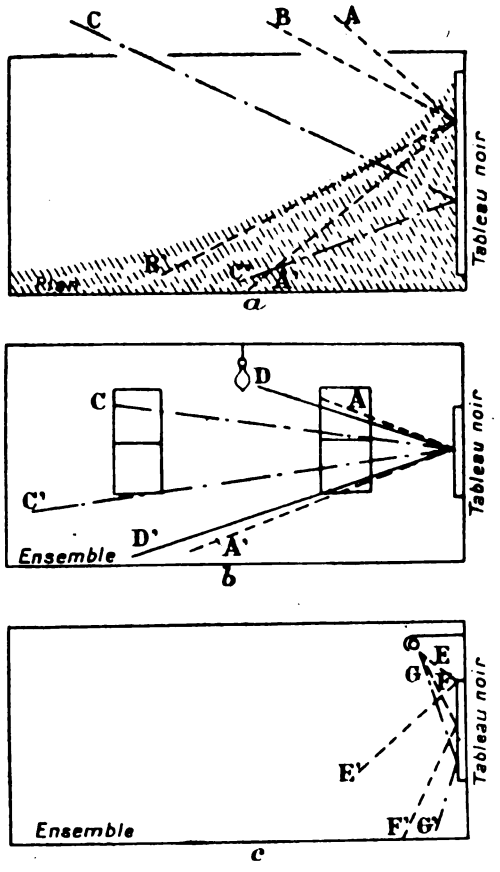


Fig. 3. — Éblouissement produit par la lumière réfléchie sur les tableaux noirs : *a*) projection horizontale montrant que les écoliers situés dans la partie ombrée auront leurs yeux éblouis par la lumière réfléchie sur le tableau noir; *b*) projection verticale indiquant les angles sous lesquels l'éblouissement est produit par la lumière du jour et par la lumière artificielle; *c*) disposition d'un éclairage artificiel destiné à réduire l'éblouissement par la lumière réfléchie.

en avant du mur la partie supérieure du tableau, les élèves situés dans le fond de la classe ne seront plus gênés par la réflexion; dans chaque cas déterminé il est facile de voir si l'inclinaison du tableau améliorera ou non les conditions. On a indiqué en D l'effet de la réflexion du rayon qui provient d'une source artificielle. La figure (*c*) donne le schéma d'une méthode correcte pour l'éclairement des tableaux noirs au moyen de sources artificielles.

Afin d'épargner aux yeux des contrastes d'éclat trop vifs, on évitera de disposer les tableaux noirs contre un mur blanc ou d'un pouvoir réflecteur élevé.

Amélioration de l'éclairage des vieux batiments. — On va rapporter ici un exemple de cas où l'on a pu améliorer à peu de frais l'éclairage d'une salle de classe. Sur la figure 4 on a représenté la projection verticale

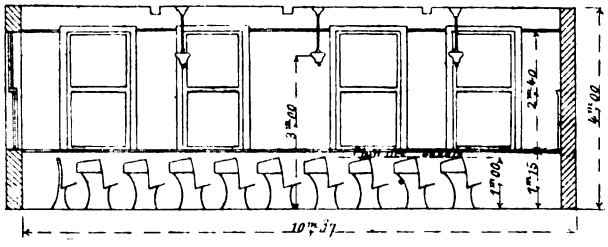


Fig. 4. — Ancienne installation d'éclairage.

d'une salle de classe montrant le système d'éclairage primitivement employé qui présentait les inconvénients suivants : 1° les lampes étaient supendues trop bas, la présence de sources brillantes dans le champ de la vision fatiguant l'œil; 2° rien ne cachait les sources elles-mêmes aux yeux des élèves; 3° deux suspensions ne suffisaient pas à assurer un éclairage satisfaisant sur le plan de travail d'une salle ayant les dimensions indiquées. On a remédié à cet inconvénient en prenant six suspensions dont la figure 5 indique trois projections.

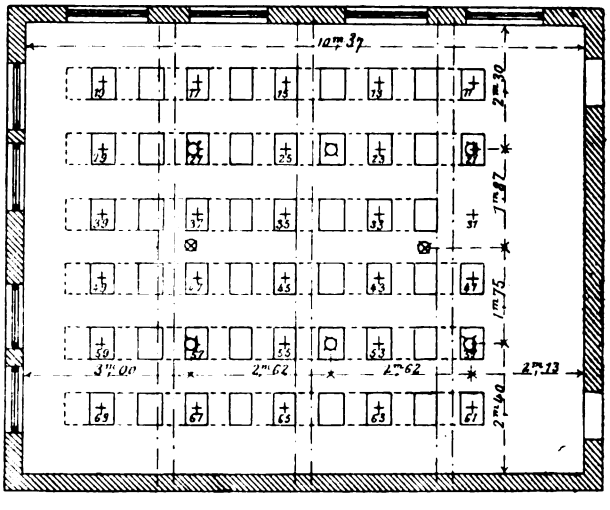


Fig. 5. — Nouvelle installation d'éclairage.

Chaque suspension est constituée par un abat-jour renversé en verre translucide contenant une lampe.

Entretien. — Un entretien régulier est nécessaire pour éviter la diminution d'éclairage provenant des ruptures de filament ou des manchons, de l'accumulation des poussières sur les lampes, sur les milieux réfléchissants ou transmetteurs. Pratiquement, le défaut d'entretien peut réduire l'éclairement de 50 pour 100 surtout dans les systèmes d'éclairage indirect ou semi-indirect.

A. Boutaric,
Agrégé de l'Université, docteur ès-sciences, chargé d'un cours complémentaire d'électricité industrielle à l'Université de Montpellier.

Digitized by Google

Revues, analyses et informations

Mesure du rapport de transformation et du déphasage entre primaire et secondaire dans les transformateurs d'intensité, au moyen d'un transformateur annulaire.

Cette intéressante méthode, qui paraît plus simple que celles qu'on a proposées jusqu'ici, donne des résultats très exacts. Elle consiste en principe à employer un transformateur de courant spécial, à circuit magnétique annulaire, dont on relie le primaire et le secondaire respectivement en série avec le primaire et le secondaire du transformateur de courant en essai. On fait varier le nombre de spires secondaires du transformateur spécial jusqu'à ce que ses ampères-tours primaires et secondaires soient égaux et opposés entre eux. Le rapport des nombres de spires primaires et secondaires dans le transformateur spécial est alors le rapport de transformation du transformateur en essai. Naturellement les ampères-tours primaires et secondaires ne peuvent jamais s'annuler mutuellement tout à fait, parce qu'ils ne sont pas exactement en opposition de phase, mais on peut trouver un point où leur différence vectorielle est à angle droit avec l'un deux et c'est ce point qu'on prend pour caractériser l'équilibre. Cette valeur minimum de la différence vectorielle donne une mesure du déphasage entre les ampères primaires et les ampères secondaires inversés.

Nous allons donner quelques détails sur cette méthode (1)

Considérons le cas d'un transformateur d'intensité en place, fonctionnant en conditions normales et alimentant un circuit secondaire d'ampèremètres, wattmètres, etc.

Dans la figure 1 se voit une boucle marquée L P, insérée

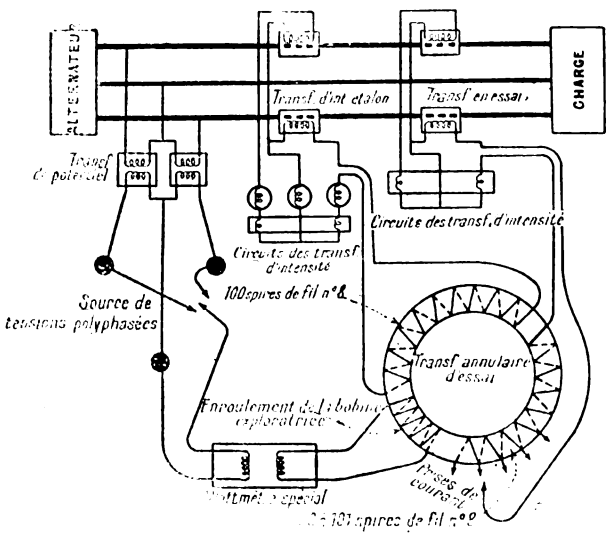


Fig. 1.

en série avec le primaire du transformateur de courant en essai et alimentant un enroulement de grosse section et à fort isolement sur le transformateur annulaire. Ce dernier est formé d'un anneau en fer feuilleté portant trois enroulements : 1° l'enroulement pour grosse intensité, formé d'une, deux ou quatre spires suivant qu'on fait les connexions en série ou en parallèle ; 2° un enroulement en fil de 3.26 mm de diamètre (n° 8 B et S) pour lequel on peut employer un nombre quelconque de spires de 1 à 230; 3° un enroulement formé d'une bobine exploratrice qui alimente la bobine mobile d'un wattmètre spécial.

Cet enroulement en fil de 3,26 mm est relié, comme l'indique la figure 1, à la boucle secondaire L S, et le sens du courant dans cet enroulement est pris opposé au sens du courant dans l'enroulement à grosse section.

Dans le wattmètre spécial, l'enroulement inducteur est excité par la tension AB ou par la tension CB, suivant la lecture qu'on doit faire.

Voici maintenant la suite des opérations dans le cas proposé. Le transformateur en essai portait la spécification 120:1; on a donc employé une seule spire pour l'enroulement à forte intensité, et 119 à 121 spires pour l'enroulement en fil de 3.26 mm, ou fil n° 8.

L'enroulement en fil n° 8 étant établi à 119 spires, on excite l'inducteur du wattmètre par la tension A B et on lit une déviation de + 295. Puis, l'inducteur du wattmètre étant excité par la tension CB, on lit + 175. Ces deux lectures déterminent la grandeur et la phase du courant qui passe dans la bobine exploratrice, puisque le wattmètre indique les composantes de ce courant suivant deux directions. Ce courant ou ces ampères-tours donnent une mesure de la différence vectorielle entre les ampères-tours de l'enroulement à grosse section et ceux de l'enroulement en fil n° 8.

Dans la figure 2, l'angle AOC est de 60°. La première lecture (+ 295) est portée le long de OA, en OR_1 et on

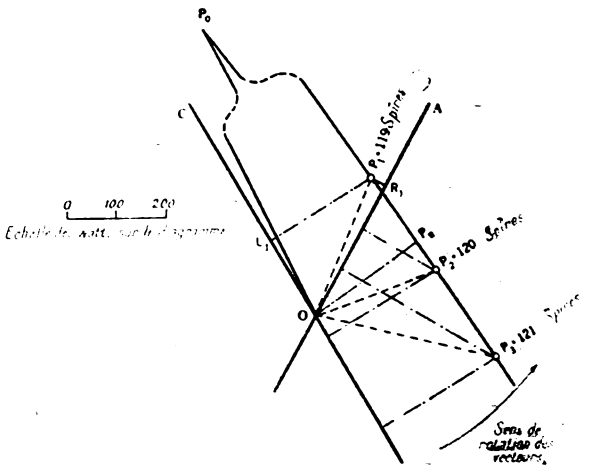


Fig. 2.

mène la perpendiculaire $R_1 P_1$. Ensuite on porte la seconde lecture (+ 175) le long de OC en OL_1 et on mène la perpendiculaire $L_1 P_1$, ce qui détermine le point P_1. Le vecteur d'ampères OP_1 représente le courant dans la bobine exploratrice, puisque c'est le seul vecteur dont les composantes suivant OA et OC donnent respectivement les lectures réellement faites. OP_1 est donc une mesure de la différence vec-

(1) H.-S. Baker. *Proceedings of the American Inst. of Elect. Eng.*, septembre 1918, t. xxxvii, p. 1173-1183.

Digitized by Google

torielle entre les ampères-tours du courant fort et ceux de l'enroulement en fil n° 8 quand celui-ci comprend 119 spires.

On porte ensuite à 120 le nombre des spires en fil n° 8, ce qui augmente les ampères-tours de cet enroulement dans le rapport de 120 à 119, mais sans changer le sens de phase de ces ampères-tours. Alors un second couple de lectures (+ 195 et — 50) détermine le point P_2 pour 120 spires de fil n° 8 et l'on voit que la direction du vecteur des ampères secondaires est suivant $P_1 P_2$ puisque son accroissement est $P_1 P_2$. Un troisième couple de lectures détermine le point P_3 pour 121 spires de fil n° 8. On prend d'ordinaire au moins 3 points, car s'ils se trouvent sensiblement en ligne droite, on peut regarder les lectures comme bien d'accord.

Si l'on prolongeait la ligne $P_3 P_2 P_1$ de 119 segments, égaux chacun à la distance $P_2 P_1$, on arriverait au point P_0 et le vecteur OP_0 représenterait la différence vectorielle entre les ampères-tours primaires et les ampères-tours du fil n° 8, quand ceux-ci sont nuls. Donc OP_0 représenterait la différence vectorielle entre les ampères-tours du fil n° 8 quand on emploie 119 spires. Pour obtenir le point où les ampères-tours du courant fort et les ampères-tours du fil n° 8 sont égaux, on peut mesurer une longuenr $P_0 P_B$ égale à $P_0 O$, ou, pratiquement, abaisser une perpendiculaire du point O sur la ligne $P_1 P_2 P_3$. Le nombre de spires représenté par le vecteur $P_0 P_B$ (qui est d'après l'échelle égal à 119,70) divisé par le nombre de spires de l'enroulement à grosse section, est le rapport des nombres de spires du transformateur spécial quand les ampères-tours sont égaux. Par conséquent le rapport des intensités est 119,70, et c'est aussi le rapport de transformation du transformateur en essai.

L'angle $OP_0 P_B$ entre le vecteur des ampères-tours primaires et celui des ampères-tours secondaires est l'angle de déphasage du transformateur en essai. La tangente est le rapport de OP_B à $P_B P_0$ et OP_B est, d'après l'échelle, égal à $1{,}15 \times P_1 P_2$. Donc le rapport

$$\frac{OP_s}{P_s P_0} = \frac{1{,}15}{119{,}70} = 0{,}96 \text{ pour } 100,$$

est la tangente de l'angle d'avance du secondaire sur le primaire dans le transformateur en essai.

Si les points P_1, P_2, P_3 ne se trouvaient pas en ligne droite, la cause en serait probablement un changement d'intensité dans le transformateur de courant pendant le relevé des six lectures et il faudrait les recommencer. (La durée de cette mesure est de deux minutes environ.) Si les ampères peuvent être maintenus pendant deux minutes sans variation de plus de 5 pour 100, on obtient de bons résultats. Une variation même de 10 pour 100 n'empêche pas d'avoir des données suffisamment exactes pour les mesures industrielles. Même avec une charge variable alimentée par un certain nombre d'alternateurs en parallèle, on peut faire marcher un des alternateurs avec une ouverture de vannage fixe et lui faire fournir ainsi une charge constante.

La construction du diagramme et la mesure des résultats sur la figure se font rapidement au moyen d'une échelle transparente en celluloïd que représente la figure 3. Ainsi, pour porter sur le diagramme le premier couple de lectures, on place la ligne graduée xy suivant OA (fig. 2) et on la déplace jusqu'à ce que la division 295 tombe sur O; on mène alors une ligne le long du bord LM et cette ligne est la perpendiculaire $R_1 P_1$ dont on a parlé. On mène de même $L_1 P_1$, etc. Le triangle divisé D E F s'emploie pour mesurer la fraction de spire représentée par la ligne $P_1 P_2$ (fig. 2) et pour mesurer la longueur de OP_B en fonction de $P_1 P_3$. L'angle marqué 60° sert à tracer l'angle AOC (fig. 2).

On peut généralement disposer des transformateurs de courant pour l'essai au laboratoire avant leur installation, mais la difficulté dans ce cas est de reproduire au laboratoire les conditions de circuit secondaire dans lesquelles ils fonctionnent en service. Le schéma de la figure 1 représente un cas très commun de cette difficulté. On a là deux transformateurs d'intensité alimentant trois ampèremètres et ayant un fil de retour commun. L'ampèremètre placé sur ce fil agit d'une façon très différente sur le rapport des deux transformateurs parce que la chute de tension aux bornes de l'ampèremètre fait un angle de phase très différent avec les courants respectifs des deux transformateurs.

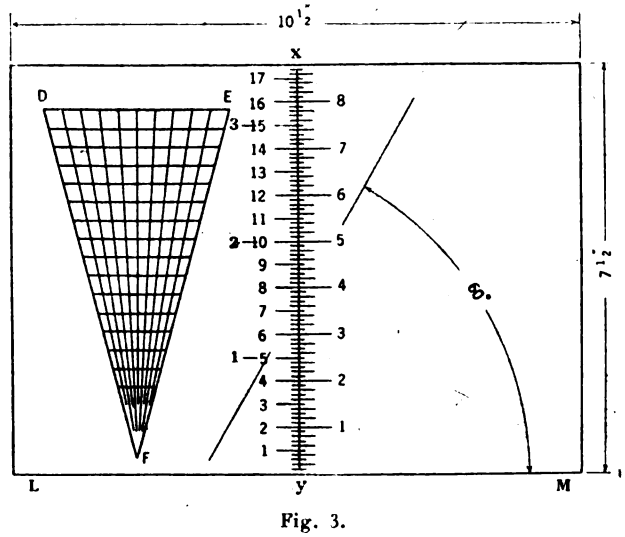


Fig. 3.

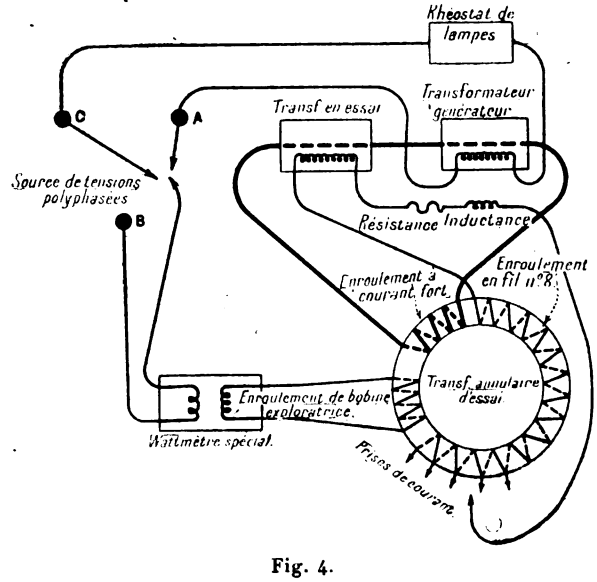


Fig. 4.

Le cas de secondaires montés en triangle est difficile aussi à reproduire avec exactitude au laboratoire. Cependant, après avoir évalué au jugé la résistance et l'inductance

Digitized by Google

qu'il faut mettre au laboratoire dans le circuit secondaire du transformateur en essai, on obtient des résultats pratiquement exacts par la variante suivante de la méthode. Il y a généralement deux transformateurs disponibles; on les relie comme l'indique la figure 4. Le premier est employé à produire le fort courant nécessaire pendant qu'on essaye le second; ensuite c'est le second qui produit le courant pour l'essai du premier.

Le schéma de la figure 4 s'explique de lui-même et le mode opératoire est le même que précédemment. Il faut éviter de placer les deux transformateurs trop près l'un de l'autre et de faire passer une canalisation de courant intense trop près du transformateur en essai, parce que les champs vagabonds influent sur le rapport de transformation.

Il faut aussi avoir soin, dans les cas où l'on veut une exactitude à moins de 0,2 pour 100 près, d'annuler le magnétisme résiduel du transformateur en essai. A des intensités modérées, ce résidu subsiste et influence le rapport de transformation et le déphasage. On peut l'annuler en intercalant une résistance en série dans le circuit secondaire et en diminuant graduellement jusqu'à zéro. Si on emploie une résistance suffisante pour élever la tension secondaire à 50 v par exemple, le résidu disparaîtra.

Ce magnétisme résiduel peut être dû à une étincelle de rupture même faible éclatant dans le circuit secondaire, étincelle qui produit momentanément l'effet d'une haute résistance et permet au fer du transformateur de se magnétiser fortement. Le transformateur annulaire est muni d'un interrupteur qui permet d'éviter cette étincelle quand on passe d'une prise à l'autre sur l'enroulement en fil n° 8.

Le cas représenté dans la figure 5 est une autre façon

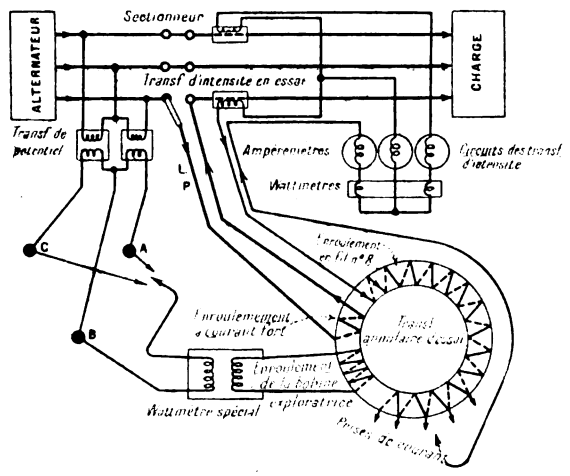


Fig. 5.

d'employer le transformateur annulaire. Il y a ici deux transformateurs de courant en service, et leurs primaires peuvent être reliés en série l'un avec l'autre par une combinaison quelconque des manœuvres de couplage de l'usine. On connaît le rapport et le déphasage de l'un d'eux, et on essaye l'autre en comparant les deux courants secondaires au moyen du transformateur annulaire. L'un des secondaires alimente 100 spires du bobinage en fil n° 8, l'autre secondaire alimente 99 à 101 spires de ce bobinage. Les résultats obtenus seront la différence de rapport et la différence de déphasage entre les deux transformateurs de courant.

On a supposé triphasées les sources de tension polyphasées représentées dans les figures 1, 4 et 5. On peut employer toute autre source polyphasée, pourvu que l'angle AOC du diagramme de la figure 2 soit pris égal à l'angle entre les deux phases de tension dont on se sert pour exciter le wattmètre spécial. Le déséquilibre ordinaire des tensions n'affecte pas beaucoup l'exactitude des résultats.

Le wattmètre spécial employé doit avoir son cadre mobile bobiné en fil de section telle qu'il ne donne pas une résistance bien des fois supérieure à celle de la bobine exploratrice, parce qu'il est très recommandable de maintenir la résistance totale du circuit de cette bobine à une valeur assez faible pour que l'induction dans le fer du transformateur annulaire soit extrêmement faible. Dans l'anneau ici décrit, la valeur de l'induction, déduite des valeurs des ampères-tours et de la résistance de la bobine exploratrice, n'était que de 15,5 gauss (100 lignes par pouce carré) pour une différence de 10 A-t (c'est-à-dire relativement élevée) entre les ampères-tours du primaire et du secondaire dans l'anneau.

Le wattmètre spécial doit avoir une inductance mutuelle nulle entre ses bobines fixe et mobile; ce doit donc être un appareil à torsion, où les lectures se font en ramenant l'index au zéro, de sorte que les bobines fixe et mobile ont une position relative toujours la même au moment de la lecture. La faible résistance requise pour la bobine mobile, ainsi que la sensibilité nécessaire, obligent à avoir un champ inducteur puissant. C'est ce champ puissant qui nécessite la condition d'inductance mutuelle nulle, sinon le wattmètre agirait en transformateur, jusqu'à un point suffisant pour affecter les résultats. Le wattmètre doit être assez peu sensible aux champs vagabonds pour pouvoir être employé au voisinage des conducteurs à courant intense.

La faible induction admise dans le fer de l'anneau, 15,5 gauss, correspond à une très faible tension (0,04 v) dans 100 spires de l'enroulement en fil n° 8, c'est-à-dire que la résistance supplémentaire introduite dans les circuits secondaires par cet enroulement est pratiquement ohmique et généralement négligeable.

L'enroulement à fort isolement et à courant intense disposé sur l'anneau consiste en quatre boulons en U, en cuivre de 11,7 mm (n° 0000 B et S.) se prolongeant à travers une plaque de fibre et disposés symétriquement autour de l'anneau. Des lames de connexion spéciales permettent d'obtenir toute combinaison série ou parallèle qu'on peut réaliser avec une, deux ou quatre spires.

L'enroulement en fil n° 8 (3,26 mm) comprend plusieurs sections, dont chacune est répartie uniformément sur l'anneau. Il y a quatre bobines de 40 spires chacune, deux bobines de 20 spires, une bobine de 10 spires et une de 20 spires réparties deux fois autour de l'anneau et ayant des prises à chaque spire.

La bobine exploratrice comprend 196 spires de fil de cuivre de 1,3 mm de diamètre (n° 16 B. et S.), mais dans les constructions futures on emploiera des spires plus nombreuses et un fil plus fin, afin de pouvoir établir plus facilement un wattmètre spécial remplissant les conditions nécessaires et de diminuer l'influence relative des champs vagabonds sur les connexions qui relient la bobine exploratrice mobile du wattmètre, si elles ne sont pas soigneusement torsadées ensemble.

Le fer du transformateur annulaire est feuilleté; il a un diamètre intérieur de 203 mm et une section de $25,4 \times 25,4$ mm^2. Il se trouve que l'anneau actuel est fait en tôles d'induit qui sont caractérisées plutôt par de faibles pertes dans le fer que par une grande perméabilité. Dans

Digitized by Google

les constructions futures on emploiera des tôles plus convenables.

La figure 6 représente une section du transformateur annulaire avec sa boîte et la tablette portant les plots de contact.

Dans l'enroulement de grosse section, il n'est pas nécessaire que le courant se partage également si l'on emploie la

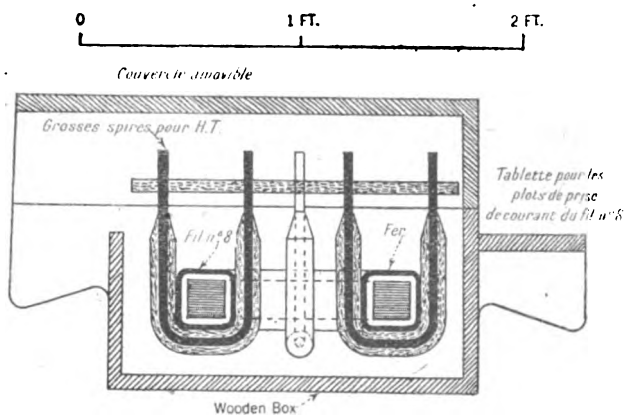


Fig. 6.

mise en parallèle. On a fait un essai en n'employant qu'une seule des quatre spires de grosse section et l'erreur résultante fut inférieure à 0,2 pour 100. Néanmoins, les lames de connexion employées avec ces spires sont dimensionnées de façon à donner un partage pratiquement égal du courant.

Dans le transformateur annulaire actuel, le courant dans la bobine exploratrice est assez loin de coïncider en phase avec la différence vectorielle entre les courants des deux enroulements (celui en fil n° 8 et celui de grosse section), mais il n'est pas nécessaire qu'il en soit ainsi. On peut montrer que, s'il a un déphasage constant et une relation numérique constante par rapport à cette différence vectorielle, il ne s'ensuit aucune erreur. Ce déphasage et cette relation numérique, dans l'anneau actuel, sont suffisamment constants dans les limites d'une même mesure, comme on peut le voir par un essai spécial et comme le montre aussi le fait que les points P_1 P_2 P_3 sont bien en ligne droite.

La table ci-dessous indique les valeurs obtenues pour le rapport de transformation et le déphasage sur deux transformateurs de courant, d'une part, d'après le Bureau des étalons de Washington; d'autre part, d'après la méthode du transformateur annulaire. On remarquera que le plus grand taux pour 100 de différence entre valeurs correspondantes est 0,07 pour 100 pour deux ampères et au-dessus. Pour les déphasages, la plus grande différence est quatre minutes entre les mêmes limites.

On emploie cette méthode depuis sept ans à la Ontario Power Company. Au début, on employait un wattmètre dont le cadre mobile, alimenté par la bobine exploratrice, n'avait pas une résistance particulièrement faible. Il en résultait que le fer de l'anneau ne travaillait pas à induction très faible et que l'anneau lui-même avait dans le circuit secondaire du transformateur en essai un rôle non négligeable et dont il fallait tenir compte pour reproduire au laboratoire les conditions de marche. On déterminait aussi autrefois, par une méthode spéciale, la tension secondaire du transformateur en essai, mais cela n'est pas nécessaire lorsqu'on sait que les valeurs de la résistance et de l'inductance alimentées par le transformateur en essai sont à peu près les mêmes qu'en marche normale.

Rapports du transformateur de courant N° 50259, 500 : 5

AMPÈRES SECONDAIRES	5	4	3	2	1	0,5
Washington	99,07	99,15	99,23	99,32	99,45	99,55
Transformateur annulaire..	99,14	99,20	99,27	99,32	99,70	99,50

Rapports du transformateur de courant N° 47113, 500 : 5

AMPÈRES SECONDAIRES	5	4	3	2	1	0,5
Washington	98,87	98,91	98,95	98,95	99,0	99,05
Transformateur annulaire..	98,90	98,92	98,92	98,96	98,98	99,10

Angles de déphasage en minutes (avance) N° 50259, 500 : 5

AMPÈRES SECONDAIRES	5	4	3	2	1	0,5
Washington	32	38	46	57	82	106
Transformateur annulaire..	32	34	43	56	98	125

Angles de déphasage en minutes (avance) N° 47113, 500 : 5

AMPÈRES SECONDAIRES	5	4	3	2	1	0,5
Washington	25	29	35	43	57	73
Transformateur annulaire..	25	27	33	44	65	83

Quand on mesure le rapport des transformateurs de courant en service (fig. 1), si, par suite de fortes variations de l'intensité, les points P_1 P_2 P_3 de la figure 2 ne sont pas en ligne droite, il faut observer un ampèremètre et ne relever les indications du wattmètre spécial que lorsque les ampères ont la valeur voulue. S'il faut intercaler un ampèremètre dans le circuit secondaire spécialement dans ce but, il peut être recommandable de faire subir une petite correction aux valeurs du rapport et du déphasage, altérées par la présence de ce nouvel appareil. Il faut aussi, quand on désire une grande exactitude, faire une petite correction pour tenir compte de la résistance ohmique du bobinage en fil n° 8 de l'anneau. Cette résistance est de l'ordre de 0,06 ohm; quant à l'effet inductif de ce bobinage, on a vu qu'il est négligeable.

S'il y a un sérieux déséquilibre dans la source polyphasée de tension qui alimente l'inducteur dans le wattmètre spécial, il faut corriger les lectures du wattmètre avant de les porter sur le diagramme. Si l'écart angulaire entre les tensions employées diffère de 60°, il faut modifier conformément l'angle A O C de la figure 2. P. L.

Sur l'utilisation technique de l'azote de l'air à l'aide de l'arc électrique (1).

L'article rappelle d'abord la manière dont on extrait l'azote de l'air pour former la cyanamide calcique, puis la

(1) ANDRIESSENS. *Bulletin de l'Association suisse des Electriciens*, novembre 1918, t. IX, p. 253-268, 5 000 mots, 11 fig.

Digitized by Google

synthèse de l'ammoniac dont il explique le mécanisme, enfin la fixation de l'azote de l'air par combinaison de ses éléments à la température de l'arc électrique :

$$Az^2 + O^2 = 2\,AzO,$$

puis

$$2\,AzO + O^2 = 2\,AzO^2.$$

Avec la vapeur d'eau, le bioxyde donne les 2 acides suivants :

$$2\,AzO^2 + H^2O = AzO^3H + AzO^2H.$$

Ce dernier se décompose en donnant :

$$3\,AzO^2H = AzO^3H + 2\,AzO + H^2O,$$

ou bien, en présence du carbonate de calcium :

$$2\,AzO^3H + CO^3Ca = (AzO^3)^2Ca + CO^2 + H^2O.$$

On obtient ainsi l'azotate de calcium, soit en laboratoire, soit au four Birkeland. Cette fabrication absorbe, en Norvège seulement, 400 000 kw et davantage encore en Amérique. L'article décrit ce procédé avec quelque détail, et conclut que c'est lui seul qui est intéressant pour la Suisse, parce qu'il permet de se passer complètement de charbon.

L'auteur décrit ensuite quelques-uns des procédés les plus connus d'extraction de l'azote de l'air par l'arc électrique : procédé Pauling, procédé Moscicki, procédé Hersberger et Schönherr, procédé Birkeland (1). Il recherche ensuite quelles sont les conditions d'emploi de l'arc électrique qui pourraient améliorer les réactions et en particulier opérer la réaction directe

$$Az + O = AzO.$$

Il montre que cette réaction ne s'opère qu'à très haute température et donne une courbe de laquelle il résulte que le volume de AzO formé est de 1 pour 100 à 2 200°, 2 pour 100 à 2 600°, 5 pour 100 à 3 400°, 8 pour 100 à 4 000° et 12 pour 100 à 4 800° absolus. Or la température de l'arc électrique est comprise entre 3 600 et 4 000° absolus et elle est complètement indépendante de l'énergie absorbée par l'arc. Malgré cela, tous les systèmes d'arcs ne sont pas équivalents, car, fort heureusement, la vitesse de réaction croît aussi très vite avec la température, comme le montrent les figures 1 et 2, donnés par Jellinek, dans lesquelles T est le temps, en minutes, nécessaire pour former la moitié de l'oxyde azoteux AzO possible à la pression atmosphérique (fig. 1), ou pour décomposer cette même quantité (fig. 2) (θ étant les températures absolues) Il résulte de ces courbes que l'on obtiendrait directement AzO en grande quantité si l'on pouvait créer des variations de températures voisines de 3 000° dans un temps voisin de 10^{-8} minutes. Il est évidemment impossible de refroidir l'arc dans un temps aussi court.

L'auteur conclut des considérations précédentes que les fours actuels répondent assez mal aux propriétés chimiques des gaz dont ils assurent la combinaison : ainsi le four Birkeland, dont le disque qui sert d'électrode a 2 mètres de diamètre et produit une flamme de très grand volume et dont la longueur moyenne atteint 3 m à 3,50 m, forme volant de chaleur, de sorte que sa température se maintient à une valeur moyenne, relativement peu élevée. Cela oblige à éloigner le canal d'échappement des gaz de sorte que leur temps de passage est beaucoup trop long (environ 2 000 fois le temps théorique indiqué plus haut (10^{-8} minutes à la fréquence de 50 p : sec). Par conséquent, toutes

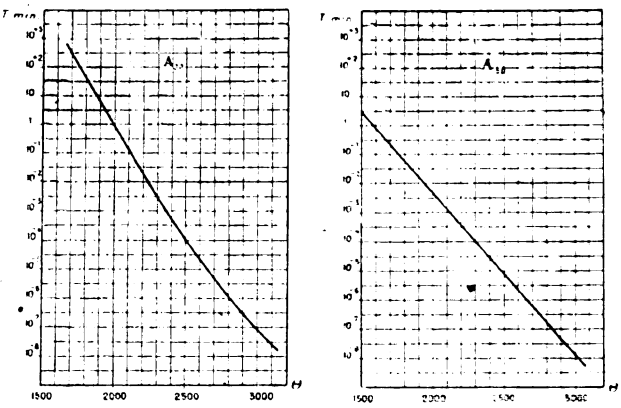


Fig. 1 et 2.

choses égales d'ailleurs, plus grand est le volume de la flamme, plus l'oxyde azoteux formé se décompose de nouveau rapidement. Il convient, au contraire, de concentrer l'énergie de l'arc sur une petite surface où s'opèrera la réaction. Ceci exige, pour diverses raisons, l'emploi de la haute tension. Le courant continu est, par suite, à rejeter, à cause de la difficulté de sa production et surtout parce qu'il ne se prête pas à l'emploi de bobines de réactances en série pour la régulation et qu'on serait obligé de dépenser en énergie Joule environ 30 pour 100 de l'énergie employée. Au contraire, l'arc à courant alternatif à haute tension se prête bien à cet usage.

On sait qu'un tel arc n'obéit pas à la loi d'ohm et que la tension à ses bornes diminue lorsque l'intensité du courant augmente, de sorte que l'on a

$$V = a + \frac{b}{I},$$

a et b étant des constantes.

Ceci est d'ailleurs conforme aux idées actuelles sur la nature de l'électricité, d'après lesquelles les molécules des gaz sont formées d'ions et d'électrons, si l'on regarde l'électrode de l'arc comme une source d'électrons dont l'émission se fait d'après la loi de Richardson $a\sqrt{T}e^{\frac{b}{T}}$ et par le moyen desquels les gaz voisins sont ionisés. Par suite, si l'on augmente de plus en plus le champ statique qui existe entre 2 électrodes fixes, on augmente en même temps la vitesse communiquée aux ions et par suite leur nombre dans le même temps : les gaz deviennent de plus en plus conducteurs et la résistance de l'arc diminue. Les caractéristiques, qui étaient e_1 et i_1 (fig. 3), prennent la forme e_2 et i_2. Par suite, dans ce cas, l'augmentation de puissance consommée correspond à une augmentation de la résistance de l'arc, c'est-à-dire à une diminution de l'ionisation. Ceci montre l'intérêt qu'il y aurait à faire de l'ionisation préalable. L'auteur termine en donnant les deux règles pratiques suivantes pour augmenter le rendement de l'arc en gaz combinés : 1° réduction des surfaces de réaction (électrodes) ; 2° augmentation de la longueur de l'arc au moment du changement de sens du courant, par des moyens

(1) Voir, pour plus de détails, *Revue générale de l'Electricité*, 21 et 28 décembre, t. IV, p. 959 et 1 008.

Digitized by Google

magnétiques, de façon à augmenter la tension nécessaire au rallumage périodique.

Ces deux conditions semblent difficiles à concilier. Néanmoins, l'auteur décrit un dispositif pratique dont voici les

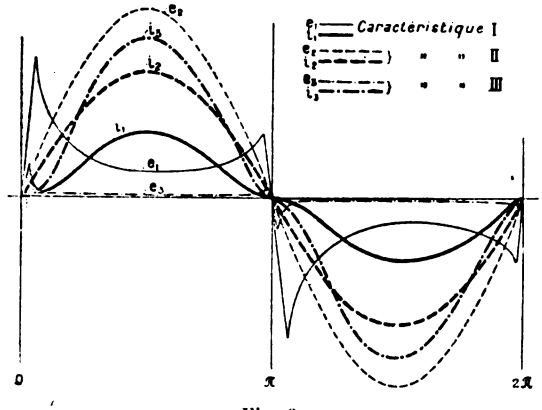


Fig. 3.

principales caractéristiques : Entre 2 électrodes très rapprochées ab et cd (fig. 4), on allume un arc à courant alternatif à haute tension. Au moyen d'un courant d'air insufflé par le

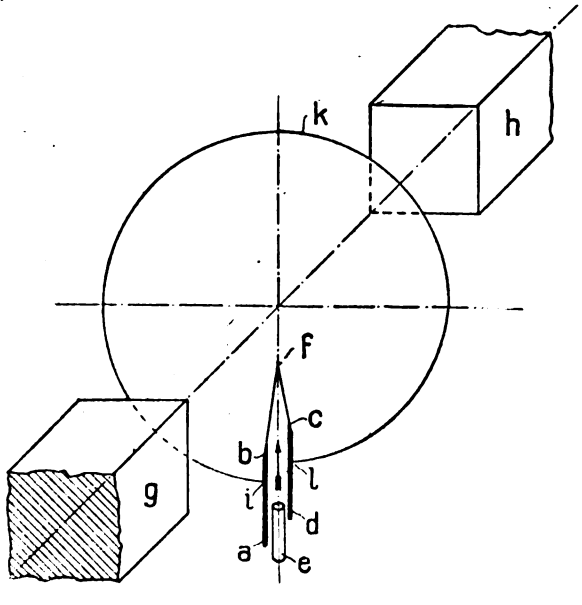


Fig. 4.

chalumeau e, l'arc est distendu en 2 parties bf et fc. A une distance convenable de l'extrémité des électrodes, un électro-aimant puissant à courant continu est disposé de telle sorte que son axe soit parallèle à la ligne bc. Par suite, les directions du courant des 2 parties de l'arc sont opposées aux lignes de force du champ magnétique, que l'arc soit à courant continu ou alternatif. Sous l'action de ce champ l'arc bfc s'étend et prend une forme circulaire ikl. On peut alors, en modifiant les conditions (admission d'air, etc.), rapprocher suffisamment les électrodes pour que le développement de l'arc, qui est alternatif, ne puisse se faire que dans un espace assez restreint. On obtient facilement ainsi un arc 4 fois moins étendu que celui du four Birkeland, de sorte qu'on peut, toutes choses égales d'ailleurs, travailler avec une vitesse d'admission d'air 4 fois plus grande. Par suite de la petitesse relative de l'arc, on obtient des variations de température plus accentuées et un meilleur rendement en produits de la réaction. Ce système a été essayé avec un arc de 60 kw, le diamètre de la flamme était de 50 cm, la fréquence de 50 p : sec. On a remarqué que le rapport de l'énergie consommée au diamètre de la flamme est constant et indépendant de la tension, qui variait de 5 000 à 10 000 v. Pour 95 kw consommés, le diamètre atteignait 70 cm, soit une circonférence de 2,2 m.

La figure 5 représente : en haut, la forme de la flamme et ses dimensions pour le fonctionnement à 45 kw (la courbe

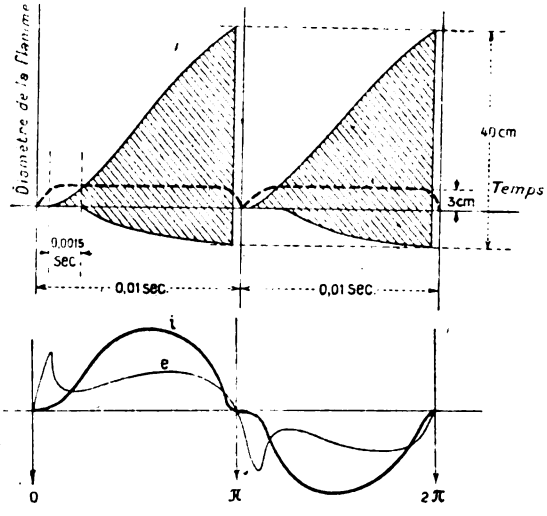


Fig. 5.

pointillée représente la flamme lorsque le courant excitateur de l'électro-aimant est interrompu); en bas la forme de l'intensité et de la différence de potentiel aux bornes de l'arc. On a remarqué que le rapport $S = \frac{W}{EI}$ des watts consommés au produit de la tension et du courant est toujours plus petit que l'unité : il oscille de 0.96 à 0,98. Le champ magnétique entre les électrodes était de 5 500 gauss. Un four de 1 500 kw vient d'être construit sur ce principe. — J. C.

L'électroculture de la pomme de terre (1).

D'intéressants essais d'horticulture intensive par électrification ont été entrepris à Pontypridd, province de Galles, Angleterre, dans le champ d'expérience du Star-Delta Potato Club, voisin de la South Wales Electrical Power Distribution Co. Ce champ a une superficie de 84 ares et son humus se compose à peu près de 70 pour 100 d'argile et 30 pour 100 de sable. En 1916, on y récolta de l'avoine ; en mars 1917, on en laboura environ les deux tiers et le reste plus tard, sans aucune fumure, tandis que, pour la campagne de 1918, on commença par répandre 40 t d'engrais en mars ; en avril, on donna un labour léger suivi d'un tour de herse et de rouleau. La terre ainsi préparée reçut alors 500 kg de superphosphate à 30 pour 100 et 140 kg de sulfate d'ammonium. Les pommes de terre furent semées dans des trous faits à la pioche, au commencement de mai, et récoltées dans le courant d'octobre.

(1) *Electrical Review*, Chicago, 25 janvier 1919, t. LXXIV, p. 140-141, 1 fig.

Digitized by Google

La figure 1 donne le schéma du champ d'expérience. Les parties hachurées représentent les parcelles électrifiées ; en regard sont inscrites les années correspondantes. Il y a un quart du champ qui a subi deux fois l'électrification ; un autre quart qui n'en a subi aucune.

Pour les essais, on a utilisé du courant monophasé 400 v, 25 p : sec, dont la tension était élevée à 32 000 v par un

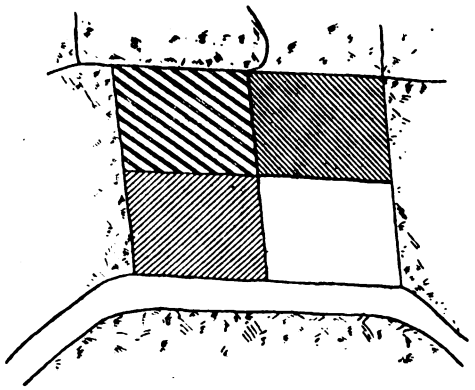


Fig. 1. — Schéma du champ d'expérience d'électroculture sur la pomme de terre.

transformateur de 10 kv-a refroidi dans l'huile ; ce courant haute tension était ensuite redressé par un appareil Delon qui maintenait la tension à 39 000 v par temps sec et au moins à 30 000 v par les temps les plus humides. Cet appareil n'a jamais éprouvé aucun dérangement même par les plus fortes intempéries.

	1917	1918
Parcelle électrifiée, en m²	4896	4435
Parcelle témoin, en m²	3480	3941
Total	8376	8376

Le terrain soumis aux essais d'électroculture était divisé comme suit :

En 1917, le réseau était constitué par un grillage comportant 5 349 m de fil d'acier galvanisé de 0,55 mm de diamètre ; les mailles carrées avaient 1,98 m de côté. L'ensemble était soutenu par des feeders porteurs en fil de cuivre de 4,8 mm de diamètre et des isolateurs, d'abord à 2,10 m au-dessus du sol, puis, le 14 août cette hauteur a été réduite à 1,60 m.

Le réseau de 1918 ne comportait que 1 690 m de fil réparti en 563 brins parallèles et écartés de 3 m ; il était mobile et on s'arrangeait pour le maintenir autant que possible à 0,60 m au-dessus du sol.

Les régimes électriques ont été : en 1917, 30 000 à 39 000 v pour la tension et, pour le courant, 2,5 milliampères par temps sec et 4 à 7 milliampères par temps humide ; en 1918, la tension ne s'est pas écartée beaucoup de 36 000 v ; quant au courant, il se maintenait à 0,35 milliampère par temps sec et 0,8 milliampère par temps de pluie. La faible consommation constatée pendant la campagne de 1918 provient très vraisemblablement de la réduction considérable du fil employé (longueur 3 fois moindre) et aussi des isolateurs qui offraient un chemin de fuite beaucoup plus restreint.

Le réseau était toujours relié au pôle positif de la source et des dispositions étaient prises pour permettre de vérifier sa polarité. On appliquait le traitement électrique à raison de deux séances de chacune 3 h par jour, de 6 à 9 h et de 19 à 22 h.

Année 1917

Traitement commencé le 10 août	nombre d'heures du matin.	118
Traitement terminé le 1er octobre	nombre d'heures du soir...	164
	Total.....	282

Année 1918

Traitement commencé le 22 juin	nombre d'heures du matin.	294
Traitement terminé 27 septembre	nombre d'heures du soir...	294
	Total.....	588

Les résultats ont été les suivants :

	1917		1918	
	Tonnes	Tonnes par 40 ares	Tonnes	Tonnes par 40 ares
Parcelle électrifiée.....	9,1	7,5	10,3	9,46
Parcelle témoin.....	5,5	6,4	8,2	8,40
	Augmentation 17,2 pour 100		Augmentation 12,6 pour 100	

Pendant les deux essais on a constaté que les fanes des pommes de terre restaient plus longtemps vertes dans les parcelles électrifiées que dans la parcelle témoin. Le pourcentage du gain a été plus faible pour 1918 qu'en 1917, mais le rendement total s'est élevé à 18,5 t pour 1918 au lieu de 14,6 t pour 1917. La première année le traitement a duré 7 semaines contre 3 mois l'année suivante ; mais le réseau de 1918 comportait bien moins de fil que celui de 1917 ; d'un autre côté, comme il était orienté perpendiculairement à la direction de l'année précédente, il est arrivé qu'en 1918 la moitié environ de la parcelle témoin avait aussi subi l'électrification en 1917.

Le mauvais temps qui a sévi au moment de la récolte n'a pas permis de peser séparément la production de chaque quart du champ ; il aurait été intéressant de connaître le rendement de la parcelle qui avait été électrifiée pendant les deux années.

Prix de l'équipement :

Transformateur de 10 kv-a ; 400/120 000 v.....	5 000 fr
Moteur synchrone de 3 ch pour le redresseur.....	1 325
Retouche au redresseur.....	1 000
Total.....	7 325 fr

Cet équipement suffirait pour un terrain de 40 à 60 hectares. Le réseau des 83 ares soumis aux essais a coûté environ :

Fil d'acier galvanisé.....	58,50 fr
Fils porteurs, acier, environ.....	48,50
Plantation des poteaux, supports.....	97,00
Main-d'œuvre, environ.....	97,00
Total.....	301,00 fr

Le public était prévenu de la présence d'une installation à haute tension par une pancarte clouée à la barrière avec l'inscription « Danger de mort ».

Concurremment à ces essais, la Société en avait entrepris un autre, en 1918, sur une culture d'avoine ; malgré les difficultés rencontrées qui n'ont pas permis de pousser les expériences à fond, on a cependant bénéficié d'une plus-value de 35 pour 100 sur le grain, de 17 pour 100 sur la paille.

L'article ne donne aucun détail sur le coût de l'énergie consommée ; on peut cependant prévoir qu'elle était obtenue à bon compte, puisqu'elle était prise en dehors des heures pointes de la saison.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Société anonyme Westinghouse.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 25 JUIN 1919.

Les produits de l'exercice ont été de 2 294 551, 40 fr contre 4 053 214, 09 fr en 1917.

Le solde créditeur pour 1918 est de 1 475 549, 46 fr auquel il faut ajouter le report précédent 1 773 242, 73 fr. De ce total il y a lieu de déduire les bénéfices de guerre de 1916 : 598 754, 25 fr, ce qui laisse un compte créditeur de 2 650 037, 94 fr.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1918.

Actif.

	fr
Espèces en caisse et banques	1 880 199,15
Effets à recevoir	8 047,80
Débiteurs divers	13 497 525,73
Matériel en consignation	294 790,92
Portefeuille Titres	2 611 950,94
Opérations de change garanties	3 000 000 »
Le Havre :	
Terrains et bâtiments	5 429 276,41
Outillage matériel et modèles	1 800 749,19
Mobilier	1 »
Magasins et travaux en cours	23 067 170,55
Marchandises en cours de route	1 323 484,15
Paris et agences :	
Mobilier et aménagements	1 »
Magasins	250 638,50
Brevets, droits et privilèges	200 000 »
	53 163 835,34

Passif.

	fr
Capital actions	16 000 000 »
Obligations 5 pour 100 1907	6 275 000 »
Créditeurs divers	12 688 293,80
Provision pour coupons	135 933,24
Avances des clients	10 991 479,50
Opérations de change garanties	3 000 000 »
Réserve légale	255 537,21
Réserves diverses	1 167 553,65
Profits et pertes :	
Bénéfices de l'exercice 1918	1 475 549,46
Report de l'exercice précédent moins contribution sur les bénéfices de guerre 1916	1 174 488,48
	53 163 835,34

Énergie électrique du Sud-Ouest.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 2 MAI 1919.

Les travaux des Usines de Mauzac et de Floirac ont été poussés aussi activement que les circonstances l'ont permis; les énormes difficultés dues à la raréfaction de la main d'œuvre, à la crise des transports et aux nombreuses entraves apportées par les événements dans la fourniture des matériaux de construction et du matériel n'ont pas permis de réaliser l'avancement sur lequel avait compté la Société. Une sensible amélioration dans l'activité des chantiers et dans les approvisionnements et transports permet d'espérer que, sauf nouveaux retards imprévus, les deux usines pourront être mises en service avant la fin de l'année.

La Société construit la ligne à 50 000 v qui alimentera le poste de radiotélégraphie de Croix d'Hins, près de Bordeaux et a achevé la pose des câbles souterrains destinés à alimenter la base américaine de Bassens et les terrains industriels situés à proximité. Ces nouvelles artères de distribution permettront de renforcer et d'améliorer utilement la distribution d'énergie sur les deux rives de la Garonne, dans la région de Bordeaux. Divers industriels ont conclu des contrats d'abonnement d'énergie importants; d'autres contrats sont en discussion et tout fait espérer que, dans un délai assez court, ces nouvelles installations alimentées par les productions supplémentaires des Usines de Mauzac et de Floirac, donneront leur plein rendement.

Les études d'aménagement de la Haute-Dordogne ont été poursuivies activement, ainsi que les négociations avec l'administration. Ces études ont porté sur l'aménagement de l'ensemble de la Dordogne en amont de Beaulieu et de ses affluents en amont de Bort; elles ont donné des résultats fort intéressants qui ont retenu l'attention des pouvoirs publics. Ces aménagements ont aussi pour but d'alimenter en énergie électrique les chemins de fer du Plateau Central, dont la Compagnie des chemins de fer de Paris à Orléans étudie l'électrification. Des pourparlers ont été engagés avec cette Compagnie au sujet de l'exploitation ultérieure de cet ensemble et les pouvoirs publics ont pris une décision accordant à la Compagnie P.-O. la mise à l'enquête des projets d'utilisation des chutes en amont du pont de Vernéjoux et à l'Energie électrique du Sud-Ouest celle des chutes entre Vernéjoux et Beaulieu.

L'exploitation en 1918 a été rendue très difficile, non seulement par la hausse exceptionnelle du prix des charbons et les difficultés de ravitaillement en combustible, mais encore par la pénurie d'eau causée par la grande sécheresse. Il a fallu augmenter considérablement la production de vapeur.

La production annuelle totale a donc été sensiblement inférieure à celle de 1917, mais par suite du jeu des contrats à prix variables avec celui du charbon et de diverses recettes extraordinaires résultant de certains contrats prenant fin à l'armistice, les recettes totales ont été cependant supérieures à celles de 1917.

Les locaux étant devenus insuffisants la Société a, en participation avec trois autres sociétés, acheté les immeubles 5 et 7 de l'avenue du Coq, il a souscrit 245 000 fr d'actions qui ont été entièrement libérées.

La Société a, au début de cette année, émis 40 000 actions de 500 fr rapportant 6 pour 100 d'intérêt net d'impôts présents et futurs. Cette émission a été motivée par la construction de l'usine à vapeur de Floirac, les aménagements

Digitized by Google

importants exigés pour l'alimentation de la base américaine de Bassens, de l'importante station radiotélégraphique de la Croix d'Hins et des grosses industries nouvelles qui s'établissent dans la région de Bordeaux.

Les recettes se sont élevées à 9 477 191, 43 fr en augmentation de 731 687, 08 fr sur celles de 1917.

Les dépenses de 6 020 113, 31 fr dépassent de 1 308 766, 64 fr celles de l'année précédente.

Le produit de l'exploitation ressort à 3 457 078, 12 fr en diminution de 577 079, 56 fr.

Sur cetotal il faut déduire : les frais généraux 30 445, 75 fr, l'abonnement au timbre, 62 386, 88 fr ; l'intérêt et les impôts des obligations, 2 326 385, 17 fr et 233 426, 83 fr d'amortissements divers.

Le bénéfice net ressort à 1 968 345, 19 fr auquel il faut ajouter le report de 1917, 78 498, 33 fr ; le solde disponible est de 2 046 843, 52 fr réparti ainsi : 5 pour 100 à la réserve légale, 98 417, 25 fr ; 4 pour 100 de dividende au 60 000 actions, 1 200 000 fr ; 10 pour 100 du reste au tantième statutaire, 66 992, 80 fr ; 20 000 fr à la réserve extraordinaire ; 2 pour 100 de dividende supplémentaire au 60 000 actions, 600 000 fr.

Le solde à reporter à nouveau est de 61 433,47 fr.

Le dividende de 6 pour 100, soit 30 fr par titre sous déduction, est payable à partir du 15 mai 1919 contre coupon n° 5.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1918.

Actif.

	fr
Frais de constitution	1 »
Frais d'augmentation de capital 1917	235 677,03
Dépenses d'installations	64 072 047,29
Installations en location	6 018,81
Matériel en location	98 554,44
Mobilier et outillage	1 »
Approvisionnements	1 766 709,61
Caisses et banquiers	1 407 940,08
Bons de la Défense nationale et rente française 4 pour 100 1917	2 180 597,15
Factures à recouvrer	3 456 868,80
Débiteurs divers	875 788,22
Cautionnements et dépôts de garantie	27 800,65
Impôts sur titres à recouvrer	150 050,99
Participations	377 000 »
Opérations de crédit garanties	1 500 000 »
Comptes d'ordre et divers	165 428,50
	76 320 483,57

Passif.

	fr
Capital : 60 000 actions de 500 fr	30 000 000 »
Obligations :	
Emprunt 5 pour 100 1909	13 428 800 »
Emprunt 6 pour 100 1916	7 600 000 »
Emprunt 6 pour 100 1917	15 240 000 »
Réserve légale	446 206,64
Réserve extraordinaire	148 960 »
Réserve d'amortissement	651 200 »
Provision pour régularisation des frais de marche à vapeur et grosses réparations	850 000 »
Créditeurs divers	726 021,73
Fournisseurs et entrepreneurs	2 367 554,20
Cautionnements et avances sur consommation	506 054,33
A reporter	1 764 796,90
Report	1 764 796,90
Coupons à payer et obligations à rembourser :	
Coupons échus et obligations à rembourser	1 121 788,41
Coupon n° 5 d'actions (dividende de 1918)	1 800 000 »
Opération de crédit garanties	1 500 000 »
Compte d'ordre et divers	72 464,79
Profits et pertes (report à nouveau)	61 433,47
	76 320 483,57

Compagnie générale de télégraphie sans fil.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE EXTRAORDINAIRE DU 15 MAI 1919.

Les actionnaires sont convoqués par le Conseil d'administration pour leur demander l'autorisation de porter le capital à 25 000 000 fr.

La Compagnie a fondé, le 24 avril 1919, la Compagnie d'exploitation radio-électrique au capital de 2 500 000 fr, dont l'objet est principalement d'exploiter les postes de télégraphie sans fil sur les navires. Il a été souscrit pour 2 120 000 fr d'actions.

La Société française radio-électrique porte son capital de 1 500 000 fr à 7 000 000 fr et la Compagnie a décidé de souscrire une part importante.

De même il faut envisager l'aide à donner à la Compagnie générale de radiotélégraphie.

L'exploitation des stations de télégraphie sans fil va devenir de plus en plus importante. La station de Tuckerton aux Etats-Unis assurera bientôt un service régulier.

Pour faire face à toutes les dépenses qu'occasionneront ces entreprises, les actionnaires ont voté les résolutions suivantes :

Première résolution. — L'Assemblée générale, sur la proposition du Conseil d'administration, décide d'augmenter le capital social de 12 500 000 fr et de le porter ainsi à 25 000 000 fr par la création de 25 000 actions nouvelles de 500 fr qui seront émises aux taux et conditions qui seront fixés par le Conseil d'administration.

Conformément à l'article 8 des statuts, la souscription des nouvelles actions sera réservée par préférence aux actionnaires et aux porteurs de parts dans la proportion de 75 pour 100 pour les premiers et de 25 pour 100 pour les deuxièmes.

Le Conseil d'administration aura tous pouvoirs pour assurer et réaliser ladite augmentation de capital, fixer les conditions et délais d'exercice du droit de préférence aux actionnaires et aux porteurs de parts dans la proportion de 75 pour 100 pour les premiers et de 25 pour 100 pour les deuxièmes.

Le Conseil d'administration aura tous pouvoirs pour assurer et réaliser ladite augmentation de capital, fixer les conditions et délais d'exercice du droit de préférence ci-dessus prévu et, en général, faire tout ce qui sera nécessaire et remplir les formalités qu'il y aura lieu.

Deuxième résolution. — L'Assemblée générale décide sous la condition suspensive de la réalisation définitive de l'augmentation de capital ci-dessus autorisée, de modifier comme suit le paragraphe premier de l'article 7 des statuts.

« Le capital social est fixé à la somme de 25 000 000 fr, divisé en 50 000 actions de 500 fr chacune toutes à souscrire et payables en numéraire. »

Digitized by Google

SECTION DE LÉGISLATION

Le permissionnaire simdlement autorisé à fournir la foricemotrce à l'exclusion de l'éclairage électrique peut-il être poursuivi en simple police pour avoir fait, au moyen des mêmes fils, une distribution de lumière?

L'arrêt de la Chambre criminelle du 3 avril 1919, dont le texte va être ci-dessous reproduit, tranche définitivement une question qui, au moins depuis la loi du 15 juin 1906, était susceptible d'être discutée. Les distributeurs de la lumière nantis d'un cahier des charges auraient désiré évidemment un arrêt en sens contraire; mais ils ont intérêt à connaître les faits qui ont donné lieu au procès et à les rapprocher du texte de l'arrêt.

Nous croyons exprimer une vérité banale jusqu'à la naïveté en constatant le fait suivant; beaucoup de distributeurs de l'éclairage électrique n'hésitent pas à se soumettre aux conditions parfois très dures d'un cahier de charges, parce qu'ils savent que ce contrat les investit du droit exclusif de fournir la lumière sur le territoire de la commune concédante; ils ne se préoccupent, en aucune façon, de quelques fils conducteurs placés avant les leurs sur la voirie urbaine, parce qu'en consultant le titre d'occupation, ils ont pu constater que cette distribution n'était autorisée que pour la force motrice, à l'exclusion de la lumière; mais, quelque temps après, ils s'aperçoivent que ce permissionnaire ajoute à sa distribution de force, quelques lampes dont le nombre va en progressant...; il y a unanimité pour reconnaître que cet électricien a le plus grand tort d'agir ainsi, car personne ne doit enfreindre les restrictions portées sur un titre; sans doute, la commune ne devrait pas tolérer une pareille violation d'un arrêté municipal, et l'article 12 du décret organique du 3 avril 1908 dit que « les permissions peuvent être révoquées... si le permissionnaire ne se conforme pas, après mise en demeure, aux obligations qui lui sont imposées par les lois et règlements »; enfin si la commune, sans se servir de cet article, laisse le permissionnaire concurrencer (1) ainsi le concessionnaire, ce dernier n'a-t-il pas le droit de faire un procès à la commune pour ne lui avoir pas maintenu la garantie du privilège qu'elle lui avait concédé?

Mais celui qui, vivant à côté des concessionnaires, a la charge de les diriger, sait combien il est difficile d'obtenir qu'un conseil municipal retire une permission de voirie à un concitoyen, lorsque les finances communales n'en souffrent point, et lorsque celles du concessionnaire seul sont atteintes; il n'ignore point combien sont longs et coûteux les procès engagés contre les communes, et l'on est conduit à examiner si le moyen le plus rapide ne serait pas le suivant; puisque le permissionnaire a contrevenu à un arrêté formel, il est passible à la fois d'une amende que peut demander contre lui le ministère public et d'une condamnation à des dommages-intérêts que peut réclamer celui qui est victime de la contravention, et il mettrait ainsi, avec quelque rapidité, en harmonie le fait avec le droit que personne ne lui discute. C'est ce qu'avait pensé la société Lumière et Force, concessionnaire de l'éclairage électrique et privé dans la commune de l'Arbresle (Rhône) et c'est pourquoi elle avait intenté une instance dans des conditions qu'il nous est possible actuellement de préciser avec quelque clarté.

I. — M. Genty, scieur mécanicien, propriétaire d'une force motrice provenant d'une dérivation de la Brevenne, avait sollicité et obtenu du maire de l'Arbresle l'autorisation de faire passer au-dessous de la voirie urbaine certains fils conducteurs d'électricité, l'arrêté du 27 février 1909, conformément à l'avis du conseil municipal du 24 février 1909

(1) Il est de jurisprudence constante qu'il y a concurrence illicite dans le fait de se livrer sans autorisation à l'exercice d'une profession soumise à une réglementation; ainsi, un arrêt du 15 juillet 1889, Cotty contre Compagnie des tramways (*Dal.*, 1890, 1, 85) a décidé que l'ordonnance du préfet de police qui défend aux cochers non autorisés à cet effet de prendre ou de déposer dans l'intérieur de la ville de Paris des voyageurs, est légale; et en conséquence que l'entrepreneur qui contrevient à cette disposition, commet une faute qui le rend passible de dommages-intérêts pour fait de concurrence illicite envers les entrepreneurs de transport régulièrement autorisés à cet effet; mais on peut encore citer un arrêt beaucoup plus voisin de la question actuelle (arrêt de la Cour d'appel de Douai du 11 novembre 1908, société Lilloise contre Compagnie des tramways, cité sous Cassation, *Dal.*, 1910, 1 428. Voir note de Berthélemy) « un tribunal peut, sans empiéter sur le domaine administratif, décider qu'une Compagnie de tramways autorisée à vendre les résidus d'énergie électrique a abusé de cette autorisation en organisant dans un but de spéculation une concurrence à une société d'éclairage électrique; qu'un tel commerce ne serait possible que si l'emploi de ces excédents était autorisé par l'administration compétente sous réserve des droits des tiers et de l'observation des prescriptions de la loi du 15 juin 1906 sur les distributions d'énergie électrique » et on lit dans ce dernier arrêt : « Attendu que la Compagnie des tramways n'observe pas la prescription de la loi du 15 juin 1906 sur la distribution d'énergie électrique, ainsi que les règlements d'administration publique intervenus en exécution de cette loi; que, sans qu'il soit besoin de rechercher pour quelles causes la ville de Lille s'est abstenue de faire droit aux demandes réitérées qui lui étaient adressées, il est de toute évidence que le silence de l'administration municipale ne pouvait être considéré comme une autorisation tacite. »

Digitized by Google

contenant à la fois une permission et une défense; une permission, en ce qu'il autorisait, pour la distribution de la force, l'occupation sollicitée; une défense (ou si l'on veut une limitation de permission), en ce qu'il interdisait la distribution de la lumière; cette prohibition nettement stipulée avait pour but de garantir la municipalité de tout recours possible de la société Lumière et Force qui, à ce moment, était déjà concessionnaire de l'éclairage par le gaz; et l'on sait combien ont été nombreux les procès contre les communes coupables d'avoir facilité une concurrence contre le gazier; mais elle apparaissait encore mieux fondée à partir du jour où la société Lumière et Force était devenue, en vertu d'un cahier des charges signé le 19 janvier 1912, concessionnaire de l'éclairage public et privé par l'électricité avec privilège exclusif.

Néanmoins, M. Genty fournit la lumière à certains particuliers, comme il fut facile de le constater par la clarté des lampes et, le 17 février 1914, il s'attira de ce chef un procès-verbal qui, rédigé par le garde-champêtre, fut rapidement suivi d'une poursuite en simple police et d'une constitution de partie civile par la société Lumière et Force. Le 2 mai 1913, le tribunal de paix de l'Arbresle prononçait la condamnation de Genty à 3 fr d'amende, à 25 fr de dommages-intérêts (envers la partie civile) et autorisait l'administration (si Genty ne supprimait pas de son plein gré l'éclairage) a faire elle-même cette suppression aux frais, risques et périls du condamné. Genty, à l'appui de son appel, employait trois moyens : le premier était tiré de ce fait qu'il était nanti d'une autorisation tacite, antérieure à l'arrêté municipal précité qui lui avait donné le droit de faire la distribution de la lumière; le second était basé sur ce que l'arrêté du 27 février 1909, en lui interdisant de faire la distribution de la lumière, n'aurait été que le retrait de cette autorisation tacite; que ce retrait, dicté au maire par le seul intérêt pécuniaire de la commune, ne constituait qu'un acte de gestion et, comme tel, ne pouvait pas servir de base à une poursuite devant le tribunal répressif, en cas de non exécution; le troisième soutenait que, même en admettant le fait allégué comme susceptible de faire l'objet d'une sanction pénale, celle-ci serait d'ailleurs rendue impossible par le fait de la prescription, car les fils auraient été placés à une époque remontant à plus d'un an avant le procès-verbal et la prescription des contraventions de voirie urbaine s'accomplit par le délai d'un an, d'après les termes généraux de l'article 640 du Code d'instruction criminelle ainsi conçu : « L'action publique et l'action civile, par une contravention de simple police, seront prescrites après une année révolue à compter du jour où elle aura été commise, même lorsqu'il y aura eu procès-verbal, saisie, instruction, poursuite, etc. »

Le tribunal correctionnel de Lyon avait écarté les trois moyens; le premier ne méritait guère l'examen et n'a pas été d'ailleurs repris par Genty devant la cour suprême. Pouvait-on parler du retrait d'une autorisation « tacite » dans cette affaire? sans doute, d'un arrêt de la cour suprême en date du 6 août 1893 (*Dal.* 1894. 1. 197, affaire Jay), on peut déduire qu'une autorisation même tacite peut avoir quelque valeur et ne saurait être retirée dans certains cas; mais, dans l'hypothèse qui nous occupe, Genty avait lui-même indiqué le peu d'importance qu'il attachait au fait qu'autrefois il avait été autorisé « tacitement » à distribuer de la lumière, puisqu'il avait cru devoir demander en 1909 une autorisation formelle, pour faire (ou si l'on veut, pour continuer) cette distribution, et qu'il avait reçu en réponse un arrêté lui enjoignant de ne distribuer que de la force, avec interdiction expresse en ce qui concerne la lumière.

En ce qui concerne le deuxième moyen, tiré de ce que Genty qualifiait d'acte de gestion, l'arrêté lui défendant de distribuer autre chose que de la force motrice, le tribunal correctionnel répondait (en se basant sur un arrêt de la cour suprême du 28 nov. 1908, af. Laurent) que l'arrêté du maire ne peut être considéré comme un acte de gestion que s'il porte en lui-même la trace indiscutable qu'il a été pris dans le but unique ou au moins principal de sauvegarder les intérêts pécuniaires de la commune; mais que l'arrêté de 1909, pris avant toute difficulté entre le concessionnaire et la commune, en conséquence ne visant et ne pouvant viser un procès auquel personne ne pensait, ne saurait avoir le caractère d'un acte de gestion.

Sur le troisième moyen, tiré de la prescription annale de la contravention, le tribunal répondait à Genty que la contravention reprochée n'avait pas pris date du jour auquel il avait, pour la première fois, placé ses fils et que personne ne pensait à lui reprocher, mais du jour auquel, pour la dernière fois, il avait fourni la lumière; cette contravention à un arrêté municipal qui contenait une défense formelle ayant un caractère continu.

Le jugement que nous venons d'analyser fut rendu le 9 février 1914 et frappé d'un pourvoi dans les délais légaux; l'affaire fut alors reprise devant la Cour de Cassation sous un aspect qu'il importe de faire connaître.

II. — Dans son premier moyen, le pourvoi soutenait le système suivant : lorsqu'un maire donne une autorisation de voirie, pour l'emplacement d'un fil conducteur, en spécifiant l'usage qui doit en être fait, il accomplit un acte que l'on doit envisager à un double point de vue : c'est d'abord un acte de police : car le maire ne saurait se dispenser d'examiner avant tout si, en tant qu'occupation, la demande qui lui est présentée n'aboutira pas à un résultat préjudiciable à la circulation, à la conservation du domaine public, à la sécurité des personnes; c'est ensuite un acte de gestion des affaires communales : car le maire, en limitant, comme dans le cas actuel, à la force motrice l'emploi du courant, en excluant de l'usage du fil tout ce qui toucherait à la production de la lumière, ne se préoccupe plus du domaine public auquel il est évidemment indifférent que le fil transmette le mouvement à un moteur, ou porte à l'incandescence le filament d'une lampe. Mais il se préoccupe des intérêts pécuniaires de la commune qui pourrait être recherchée en justice si elle autorisait la distribution de la lumière après avoir promis à un tiers l'exclusivité absolue de ce droit. Le pourvoi reprenait donc pour son compte la théorie proposée pour la première fois au Conseil d'Etat dans l'affaire Gorot, ville de Bar-le-Duc, par M. Romieu, commissaire du gouvernement, et accepté par acte de haute juridiction à la date du 6 juin 1902.

« Lorsqu'un entrepreneur de distribution d'eau, gaz, électricité, dit M. Romieu, s'adresse au maire pour obtenir une autorisation de poser des fils, tuyaux, poteaux sur la voie publique, le maire doit examiner cette demande au double point de vue auquel il a le devoir de se placer comme chef de l'administration municipale; celui de la conservation des voies publiques communales, celui de la bonne gestion des services communaux. L'acte par lequel le maire accorde l'autorisation demandée a, par suite, ce double caractère. En tant qu'il permet de faire un travail sur ou sous les voies publiques et d'en occuper une parcelle à titre permanent, c'est une permission de voirie que le maire délivre en vertu des pouvoirs propres qu'il tient des articles 91 et 98 de la loi du 5 avril 1884; en tant qu'il autorise par l'occupation du domaine public la création d'une entreprise

Digitized by Google

de distribution au préjudice du service public constitué, il fait au nom de la commune un acte de gestion dans les conditions de l'article 90, et la régularité de la permission de voirie se trouve subordonnée à la validité de cet acte de gestion dont elle n'est que la conséquence. C'est pour ce motif que, dans ce cas, les autorisations de voirie ne sont jamais données par le maire, qu'à la suite de la délibération ou tout au moins avec l'assentiment du conseil municipal dont il ne fait en réalité qu'exécuter les décisions (article 90, paragraphe 10).

On sait jusqu'à quelle extrémité le Conseil d'Etat a poussé l'application de ce principe : le retrait d'une autorisation pure et simple infligé à un particulier par une considération pécuniaire et dans l'intérêt des finances de la commune, est interdit ; il est licite quand l'acte d'autorisation a été en même temps un acte de gestion qui a compromis les finances municipales (arrêt précité, Goret, 6 juin 1902, *Dal.* 1904, 3, p. 17) ; car le Conseil d'Etat n'a point voulu admettre qu'un maire, après avoir, par un acte maladroit de gestion, compromis les finances de la commune ne puisse couper, dans sa racine, la source de ce préjudice en annulant par le même moyen l'acte qu'il a commis.

Cette distinction entre les deux aspects que peut présenter le même acte d'autorisation, ne devait rencontrer à la Cour de Cassation aucune opposition sérieuse, car la Cour suprême a elle-même consacré depuis longtemps une différence profonde entre deux sortes d'arrêtés municipaux ; ceux qui sont pris contre un particulier pour dégager la responsabilité pécuniaire de la commune, et ceux qui, étrangers à toute considération pécuniaire, se rapportent à l'exercice normal des pouvoirs du maire. Pendant longtemps elle a qualifié de l'épithète « d'illégaux » — ce qui « était excessif — les arrêtés de la première catégorie ; aujourd'hui elle se borne à déclarer qu'ils ne sont pas susceptibles d'une sanction pénale. C'est au moins l'expression qu'elle emploie dans son dernier arrêt, affaire Pesloux contre ministère public de la ville de Sens du 31 décembre 1903 (Revue des concessions, tome 3 page 107) ; elle déclare que s'il résulte du visa et des motifs d'un arrêté de retrait qu'il a été pris pour faire cesser la responsabilité de la commune engagée par un acte d'autorisation, le fait de ne pas obtempérer à cet arrêté de retrait n'est pas punissable ; déjà, par arrêt Goret contre ministère public, du 25 octobre 1900 (D. 1901, 1, p. 206) elle avait admis le même système, ainsi que par arrêt du 27 juillet 1893, Colette contre ministère public ; (Dal. 1894, 1, 197) ; on peut même citer un arrêt du 3 août 1893 (v. *ibidem.* aff. Jay contre ministère public de Villeneuve-sur-Lot) par lequel la Cour a admis que l'électricien qui, en vertu d'une autorisation rendue en la forme prévue au décret du 15 mai 1888 (1) a placé ses conducteurs sur la voirie, jouit d'une autorisation tacite et que l'arrêté municipal qui supprime cette autorisation n'est ni légal, ni obligatoire (2).

Mais l'on pouvait se demander si vraiment la jurisprudence de la Cour de Cassation n'était pas succeptible de se modifier en présence de différents faits.

Tout d'abord, depuis tous les arrêts précités, est intervenue la loi de 1906 qui a été suivie du réglement d'administration publique du 3 avril 1908. Dans ce règlement, on lit l'article 12 qui permet au maire de retirer une autorisation en cas de violation de l'arrêté qui l'octroie ; notamment aussi, en ce qui concerne les obligations qui lui sont imposées par les lois et les règlements ; or, si jamais une loi a été formelle et un règlement bien précis, c'est bien certainement le texte du 15 juin 1906, comme celui du 3 avril 1908, qui, tous les deux, font une différence profonde entre la distribution de la lumière et celle de la force motrice, l'une susceptible de faire l'objet d'un privilège exclusif qui confine au monopole, l'autre qui est libre, à la condition de rester dans la sphère où elle est cantonnée. Ne pouvait-on pas demander à la Cour suprême de dire que, si un maire peut retirer — par une mesure excessivement grave — toute l'autorisation qu'il a donnée et supprimer ainsi la distribution de la force qui est licite, parce que les termes de son arrêté n'ont pas été observés, il peut poursuivre le délinquant qui n'observe pas sa permission de voirie et n'en profite que pour en abuser. D'autre part, il y aurait témérité à refuser au concessionnaire un intérêt pour agir depuis que la loi de 1906 a un certain caractère innovateur, puisque dans l'arrêt du 29 octobre 1913 (affaire Grands-moulins-de-Gray) la chambre civile a décidé dans les termes les plus exprès que, par différence avec la législation antérieure, l'acte de concession donné conformément à la loi du 15 juin 1906 octroie un monopole au concessionnaire, et impose le respect de ce monopole, même au préfet, sur la grande voirie, et à plus forte raison au maire qui est l'agent de l'autorité concédante.

Faudra-t-il laisser le maire désarmé en présence d'une violation flagrante et publique de son arrêté, sans lui donner le moindre pouvoir de saisir la juridiction répressive ?

Enfin, la chambre criminelle, dans un arrêt relativement récent, affaire Laurent 28 novembre 1908, avait considéré comme susceptible de sanction pénale un arrêté de retrait d'une autorisation qui, bien qu'inspiré probablement par des motifs pécuniaires de la commune, ne portait pas dans son texte la trace formelle de cette inspiration.

Mais la Cour, dans l'arrêt dont on va lire le texte, indique bien que, pour elle, la loi de 1906 n'a pas modifié, sur la différence qu'il faut établir entre l'acte de gestion et l'acte de police, au point de vue de la sanction pénale, la jurisprudence antérieure que nous avons ci-dessus analysée, et tout arrêté réglementaire est encore susceptible d'être envisagé à ces deux points de vue.

Nous donnons ci-dessous le texte de l'arrêt, rendu le 3 avril 1919 sous la présidence de M. Bard.

Ouï, en l'audience publique du 29 mars 1919, M. le conseiller Georges Lecherbonnier, en son rapport, Mes Frénoy et Courard, avocats, en leurs observations, et M. l'avocat général Matter, en ses conclusions,

Après en avoir délibéré en la Chambre du Conseil ;

Sur le moyen pris de la violation de l'article 471, n° 15 du Code pénal en ce que le jugement attaqué a appliqué une sanction pénale à une défense de distribution de l'énergie électrique pour l'éclairage au moyen de canalisations autorisées pour celle de la force motrice, alors que la restriction de l'usage de ces canalisations étant relative aux intérêts privés de la commune était dépourvue de sanctions pénales ;

Vu cet article ;

Attendu que si la permission accordée par un arrêté municipal d'établir sur les voies publiques d'une commune une canalisation aérienne électrique rentre dans les pouvoirs de

(1) Le décret du 15 mai 1888 a été remplacé par la loi du 15 juin 1906 et les décrets qui l'ont suivie.

(2) Voir la jurisprudence en matière fiscale 7 février 1903. Bulletin n° 56 ; 26 janvier 1894. 15 juin 1894. Dal. 1898, 1, 249 et la notice de M. Sarrut 8 juin 1894 (Dal. 1899, 1. 91) et en d'autres matières Dal. Rép. sup. règlement administratif n° 80-81, 8 déc. 1899, bulletin n° 357 ; 16 février 1900. Dal. 1 184 ; 23 mars 1900, bulletin n° 181 ; 8 février 1902, bulletin 57 ; 1er mars 1902, bulletin n° 90.

Digitized by Google

police du maire, la défense portée par le même arrêté d'utiliser cette canalisation pour la distribution de l'éclairage aux particuliers ne concerne que les intérêts privés de la commune; que son inobservation ne saurait avoir la sanction réservée aux règlements de police et ne peut donner ouverture qu'à une sanction purement civile;

Attendu dans l'espèce, qu'il résulte du jugement attaqué que Genty ayant sollicité l'autorisation d'établir sur les chemins publics de la commune de l'Arbresle des poteaux, consoles et fils aériens nécessaires à la distribution de l'énergie électrique pour la force motrice et l'éclairage privé, un arrêté du maire en date du 27 février 1909 lui a accordé l'autorisation demandée, mais a stipulé que, seule la distribution de l'énergie électrique pour la force motrice était permise, la distribution pour l'éclairage privé demeurant interdite;

Attendu que Genty a contrevenu à cette prescription et a, pour ce fait, été condamné par l'application de l'article 471 n° 15 du Code pénal;

Mais attendu qu'il n'apparaît pas que la restriction de la canalisation imposée au demandeur par l'arrêté susvisé constitue une mesure de police, que la nature même de cette disposition indique qu'elle n'a été prise, ni dans l'intérêt de la voirie, ni dans un intérêt public, mais bien dans l'intérêt privé de la commune;

Attendu, dès lors, qu'en prononçant contre Genty, dans les circonstances précitées, les peines prévues par l'article 471, n° 15 du Code pénal le jugement attaqué a fait une fausse application dudit article;

Par ces motifs, et sans qu'il y ait lieu de statuer sur les autres moyens,

Casse et annule le jugement du Tribunal correctionnel de Lyon en date du 9 février 1914, et, pour être statué à nouveau conformément à la loi renvoie la cause devant le Tribunal correctionnel de Villefranche (Rhône).

Paul Bougault,
Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

Législation, jurisprudence, réglementation

Décret concernant l'admission temporaire des produits étrangers des catégories prohibées.

Le « Journal officiel » du 17 avril 1919 publie le décret suivant, en date du 16 avril :

Article premier. — Est dispensée de la formalité de l'autorisation préalable l'importation des marchandises étrangères des catégories prohibées en vertu de la loi du 6 mai 1916, qui sont destinées à la réexportation après avoir été transformées, travaillées ou reconditionnées en France.

Art 2. — Les importateurs devront souscrire une soumission comportant engagement sous les conditions fixées par l'article 4 du titre III de la loi du 6/22 août 1791, de réexporter ladite marchandise, après main-d'œuvre ou reconditionnement, dans un délai de six mois, susceptible de prorogation suivant les circonstances : les marchandises acquitteront les droits du tarif dont elles seront reconnues passibles et qui ne seront pas remboursés lors de la réexpédition à l'étranger.

Art. 3. — Les déclarations-soumissions d'entrée devront énoncer, en sus des indications exigées pour les déclarations de mise en consommation, les caractéristiques des produits et, le cas échéant, la forme, les dimensions et tous autres éléments propres à assurer une équivalence aussi complète que possible entre le produit importé et le produit réexporté. Elles spécifieront également le taux du déchet qui aura été accordé pour la réexportation par la décision spéciale qui aura autorisé l'opération.

Lorsque cette formalité sera jugée nécessaire, un double échantillon du produit importé sera prélevé, scellé et annoté contradictoirement par le service des douanes et le déclarant ; l'un des échantillons sera conservé au bureau d'entrée et l'autre remis à l intéressé.

Pour la réexportation, ce dernier déposera l'acquit-à-caution et, le cas échéant, l'échantillon dans un bureau de douane ouvert au transit qui restera chargé de l'apurement de la soumission au fur et à mesure des réexportations partielles ; après vérification dans ledit bureau, les marchandises seront expédiées sous plomb de douane sur le bureau de sortie effective.

Art. 4. — Les déclarations de réexportation devront être appuyées de certificats de fabrication ou de reconditionnement établis sur papier timbré, par les exportateurs et énonçant, d'une part, la quantité de produit importé temporairement présentée à la sortie, et, d'autre part, la quantité de produit brut utilisée d'après le coefficient de rendement fixé par l'Administration ; cette dernière quantité sera imputée à la décharge de l'acquit-à-caution souscrit au moment de l'importation. Les certificats de fabrication seront annexés aux déclarations. En cas de soupçon d'abus, le service des douanes pourra en faire contrôler les énonciations par une enquête.

Art. 5. — En cas de contestation entre l'Administration des douanes et le déclarant lors de l'exportation d'un produit bénéficiant des facilités instituées par le présent arrêté, le litige sera déféré, s'il y a lieu, aux experts légaux.

Art. 6. — Les dispositions du présent arrêté ne sont pas applicables aux sucres, aux boissons distillées et aux produits frappés de prohibition fiscale ou d'ordre public.

Elles ne sont pas de nature à dispenser les importateurs de l'accomplissement des formalités particulières prévues pour l'entrée et la sortie de certaines marchandises soumises, au point de vue douanier, à un régime spécial et ne figurant pas dans l'énumération ci-dessus.

Digitized by Google

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN Agrégé de l'Université.

RÉDACTEUR EN CHEF :
Alfred SOULIER, Expert près le Tribunal civil de la Seine.

3e ANNÉE. — TOME V. — N° 26. — 28 JUIN 1919.

Chronique. — Exposition d'usines ne déparant pas le paysage. — Sur le captage et l'utilisation de la puissance des marées. — Exposition en Corogne, p. 905-906.

Section scientifique et technique. — Applications du calcul symbolique à l'intégration des équations différentielles linéaires à coefficients variables *(suite et fin)*, par H. VOGT, p. 907.

Section industrielle. — Consommation d'énergie électrique dans la fabrication de divers produits de l'Electrochimie et de l'Electrométallurgique, par P. BUNET, p. 913. — Revues, analyses et informations : Revue critique de la bibliographie relative à l'attraction magnétique déséquilibrée dans les machines dynamo-électriques, p. 923 ; L'attraction magnétique dans les machines électriques, p. 925 ; Programme d'électrification partielle des chemins de fer français, expérience actuellement acquise en France et à l'étranger dans l'électrification des grandes lignes, p. 930. — Notes pratiques : Le halage des conducteurs électriques dans les conduites, p. 934 ; Comment on travaille l'aluminium, p. 934.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Compagnie générale des Câbles de Lyon, ancienne Société française des câbles électriques, système Berthoud, Borel et Cie, p. 935 ; Société des Forces du Fier, p. 935 ; Banque Nationale de Crédit, p. 936.

Exposition d'usines ne déparant pas le paysage. — L'Union des Industries métallurgiques et minières, de la Construction mécanique, électrique et métallique et des Industries qui s'y rattachent, nous communique l'appel suivant de la Société pour la Protection des Paysages de France :

Le réveil de l'Industrie française va se traduire par la création de nombreuses usines, non seulement dans les ruines de nos départements dévastés par l'ennemi, mais encore dans le reste du pays, et, plus particulièrement par l'utilisation de la houille blanche.

La Société pour la protection des Paysages de France désire, comme c'est sa raison d'être et son devoir, sauvegarder cette autre richesse artistique et commerciale de la France qu'est la beauté de nos sites de toute nature, en conciliant, dans l'intérêt général, les nécessités de l'Industrie, du Tourisme et de l'Art.

Et déjà ont répondu à son appel : la Chambre syndicale des Forces hydrauliques, l'Union des Industries métallurgiques et minières, le Touring-Club de France, l'Office national du Tourisme, l'Union centrale des Arts décoratifs, les Ministères de l'Instruction publique et des Beaux-Arts, de l'Agriculture, des Travaux publics, etc.

Dans ce but éminemment patriotique, elle convie tous les industriels de bonne volonté à une exposition d'Usines ne déparant pas le paysage qui s'ouvrira en novembre 1919 au Musée des Arts décoratifs, au pavillon de Marsan, palais du Louvre, à Paris.

L'exposition comprendra trois classes :

Celle des usines déjà réalisées ;

Celle des usines à construire ou à transformer ;

Celle des dépendances et aménagements des usines, cités ouvrières, jardins et autres ouvrages, y compris leur tenue et celle de leurs abords.

Les exposants ont toute liberté pour le mode de présentation de leurs envois : photographies, dessins perspectives, maquettes, dioramas, etc., présentant l'usine et son ambiance.

En vue d'assurer la sincérité du document, la photographie sur nature et surtout stéréoscopique est préférable. Les perspectives, maquettes, dioramas seront, dans le même but, disposés, le plus possible, de façon que l'œil du spectateur soit placé dans une situation normale et vraisemblable.

Le Jury d'admission sanctionnera par des récompenses les efforts vers la préservation harmonieuse des paysages.

Envoyer les adhésions avant le 15 juillet au président du Comité d'Organisation de l'exposition, au Louvre, pavillon de Marsan, 107, rue de Rivoli, en indiquant les surfaces murales ou les volumes d'emplacement demandés qui seront, dans la mesure où ils pourront être accordés, mis gratuitement à la disposition des exposants. Pour tous renseignements, s'adresser à M. le secrétaire général de l'Union centrale des Arts décoratifs, à la même adresse.

Le Comité d'organisation, qui comprend de nombreux représentants de l'industrie hydroélectrique est constitué comme il suit :

Président :

Vicomte CORNUDET, député de Seine-et-Oise, président de la Société pour la Protection des Paysages de France.

Membres :

MM. A. BALLIF, président du Touring-Club de France ;
BAUDON DE MONY, administrateur-délégué de la Société pyrénéenne d'Energie électrique ;

Digitized by Google

MM. Louis Bonnier, inspecteur général des Services techniques d'Architecture et d'Esthétique de la Préfecture de la Seine ;
Antoine Borrel, député de la Savoie, président du Groupe parlementaire du Tourisme ;
Bouchayer, administrateur de la Société générale des Forces motrices et d'Eclairage de la Ville de Grenoble ;
Cahen, administrateur-délégué de la Société Sud-Electrique ;
François Carnot, président de l'Union centrale des Arts décoratifs ;
Anselme Champgeur, secrétaire général de la Société pour la Protection des Paysages de France ;
Raoul de Clermont, membre du Comité directeur de la Société pour la Protection des paysages de France ;
G. Cordier, président de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques ;
Louis Cordonnier, membre de l'Institut, président de la Société centrale des Architectes français ;
Léon Dabat, directeur général des Eaux et Forêts au Ministère de l'Agriculture ;
Henry Defert, président du Comité des Sites et Monuments au Touring-Club de France ;
Famechon, directeur de l'Office national du Tourisme ;
Jean Forestier, conservateur des Promenades et des Plantations de la Ville de Paris ;
Gabelle, directeur du Conservatoire national des Arts et Métiers ;
Giros, administrateur-délégué de la Société d'Energie électrique du Nord de la France ;
Jacques Hermant, président de la Société des Architectes diplômés par le Gouvernement ;
Keller, administrateur-délégué de la Société des Etablissements Keller-Leleux ;
Raymond Kœchlin, président de la Société des Amis du Louvre ;
Alfred Lambert-Ribot, secrétaire général de l'Union des Industries métallurgiques et minières ;
Germain Lefèvre-Pontalis, membre du Comité directeur de la Société pour la Protection des Paysages de France ;
Lépine, administrateur-délégué de la Société de Fure, Morge et Vizille ;
Paul Léon, chef des Services d'Architecture à l'Administration des Beaux-Arts ;
Mahieu, directeur de la Voirie routière au Ministère des Travaux publics ;
Margaine, député de la Marne, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées ;
Metman, conservateur du Musée des Arts décoratifs ;
Noël, sénateur de l'Oise, directeur de l'Ecole centrale des Arts et Manufactures ;
Pascalis, président du Syndicat général des Produits chimiques ;
Robert Pinot, secrétaire général de la Chambre syndicale des Forces hydrauliques ;
De Seynes, administrateur de la Société des Produits azotés ;
Robert de Souza, vice-président de la Société pour la Protection des Paysages de France.

Sur le captage et l'utilisation de la puissance des marées. — Nous recevons à ce propos la lettre suivante de M. A. Maire, ingénieur.

Monsieur le Directeur,

Dans la « R. G. E. » du 7 juin courant, M. Maynard, ingénieur des Ponts et Chaussées, a publié un article au sujet de la captation de la puissance des marées au cours duquel il est fait allusion au cycle Maire, page 830.

M. Maynard dit ceci :

« Le cycle Maire, dont il est question, est celui de l'écoulement pour deux bassins en six heures, il a été breveté en 1879 par M. Courtenay et en 1912 par M. Pein, il n'est donc pas nouveau. »

Le système des « deux ou trois réservoirs » que j'ai fait breveter, système qui comporte en outre la disposition spéciale des digues et de l'usine en forme d'équerre, et le refoulement de l'eau de la mer dans le bassin de marée au moment des P. M., n'a aucun rapport avec les brevets Courtenay et Pein.

Le brevet n° 488 662 a été délivré en conformité de la loi du 5 juillet 1844, notamment de l'article 11 de ladite loi.

Je vous serais reconnaissant de vouloir bien publier cette rectification dans le plus prochain numéro de la « R. G. E. » et de m'aviser que cette publication a été faite.

Veuillez agréer, etc.

A. Maire.

Satisfaction étant donnée à M. Maire par la publication de sa lettre, faisons observer que le fait que « le brevet n° 488 662 a été délivré en conformité de la loi du 5 juillet 1844, notamment de l'article 11 de ladite loi », n'implique nullement que M. Maynard se soit trompé en écrivant que le cycle de M. Maire n'est pas nouveau. On sait en effet qu'en France les brevets sont délivrés sans aucune garantie de nouveauté et si l'on se reporte à la loi du 5 juillet 1844 invoquée par M. Maire on y lit que l'article 11 a été supprimé et remplacé par la loi du 7 avril 1902 dont voici le début :

« Les articles 11, 24 et 32 de la loi du 5 juillet 1844, ce dernier déjà modifié par la loi du 31 mai 1856, sont modifiés et complétés comme il suit : « Article 11. — Les brevets dont la demande aura été régulièrement formée, seront délivrés sans examen préalable, aux risques et périls des demandeurs, et *sans garantie*, soit de la *réalité*, de la *nouveauté* ou du *mérite de l'invention*, soit de la fidélité ou de l'exactitude de la description..... »

Exposition en Corogne. — Nous recevons du Syndicat professionnel des Industries électriques la note suivante :

Le Syndicat professionnel des Industries électriques porte à la connaissance de ses adhérents qu'il a été saisi par l'Office commercial Français en Espagne, que le Comité des fêtes de la Corogne, a l'intention d'organiser durant le mois d'août et pendant ces fêtes, une exposition générale de divers produits.

Il serait bon que l'industrie française fasse un effort et soit représentée à cette expostion à laquelle les Américains ont l'intention de participer afin de faire connaitre leur industrie.

Le Comité d'organisation de cette exposition serait disposé à accorder les locaux gratuitement.

La Galicie étant une région minière, riche en chutes d'eau que l'on compte utiliser comme productrices d'énergie électrique, les principaux produits à exposer seraient :

Machines et matériel de mines ;
Turbines ;
Moteurs, dynamos, alternateurs ;
Appareillage et appareils électriques divers ;
Instruments de laboratoire.

La date de l'ouverture de l'exposition étant fixée au 1er août et le Comité d'organisation de l'exposition désirant être saisi des demandes avant la fin du mois, nous prions nos adhérents, que cette manifestation intéresse, de prévenir le Comité d'organisation en lui adressant le télégramme suivant « Francom Madrid. — Notre maison désire en principe participer exposition Corogne ».

Digitized by Google

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Applications du calcul symbolique à l'intégration des équations différentielles linéaires à coefficients variables (*Suite et fin*)

Dans ce dernier article complétant les précédents, l'auteur applique les méthodes du calcul symbolique à l'intégration des équations différentielles linéaires à coefficients quelconques; il montre comment ces méthodes permettent de calculer rapidement les éléments fondamentaux dont dépendent les intégrales et les coefficients de leurs développements en série. L'intégration de de l'équation de Bessel que l'on rencontre dans certains problèmes de l'électrotechnique, offre un exemple simple des procédés de calcul employés.

1. — **Equations différentielles linéaires homogènes à coefficients variables.** — Nous allons donner quelques indications sur l'application du calcul symbolique à l'intégration d'une équation différentielle linéaire dont les coefficients dépendent de la variable x; nous supposerons d'abord que cette équation est homogène ou sans second membre, mais ce que nous dirons s'appliquera ensuite sans grande modification à une équation avec second membre. Nous considèrerons donc une équation de la forme

$$f(D,x)\,y = 0,$$

f étant un polynome de degré n par rapport à D ; nous pouvons supposer que le coefficient de la plus haute puissance est l'unité et nous poserons

$$f(D,x) = D^n + a_1(x)D^{n-1} + \ldots + a_{n-1}(x)D + a_n(x).$$

Dans le domaine de tout point x_0 qui n'est singulier pour aucun des coefficients a, les intégrales de l'équation sont développables en série entière de $x - x_0$. D'autre part, un point x_0 singulier pour les coefficients a est aussi en général un point singulier pour les intégrales.

Que x_0 soit singulier ou non, un cas important est celui où une intégrale de l'équation, dans le domaine du point x_0, prend la forme

$$(x - x_0)^r S(x - x_0),$$

ou plus généralement la forme

$$(x - x_0)^r [S_0(x - x_0) + S_1(x - x_0) \log (x - x_0) + \ldots + S_p(x - x_0) \log^p (x - x_0)]$$

où r est un exposant entier ou non, positif, nul ou négatif, et $S, S_0, S_1, \ldots, S_p$ des séries entières de $x - x_0$, non toutes nulles pour $x = x_0$. On dit qu'une intégrale de cette forme est *régulière et qu'elle appartient à l'exposant r.*

Je rappelle le théorème suivant de la théorie des équations différentielles (1) :

Pour qu'une équation différentielle linéaire et homogène d'ordre n possède un système fondamental de n intégrales indépendantes, régulières dans le domaine d'un point x_0, il faut et il suffit que $f(D, x)$ *ait la forme*

$$f(D,x) = D^n + \frac{b_1(x)}{x - x_0} D^{n-1} + \frac{b_2(x)}{(x - x_0)^2} D^{n-2} + \ldots + \frac{b_n(x)}{(x - x_0)^n},$$

les fonctions b_1, b_2, étant finies et continues pour $x = x_0$.

Un cas particulier est celui où l'on a

$$f(D,x) = D^n + \frac{b_1(x)}{p(x)} D^{n-1} + \frac{b_2(x)}{p^2(x)} D^{n-2} + \ldots + \frac{b_n(x)}{p^n(x)},$$

où $p(x)$ est un polynome de degré quelconque m n'ayant que des racines simples et b_1, b_2, b_n des polynomes de degrés respectivement égaux ou inférieurs à

$$m - 1,\ 2(m - 1), \ldots,\ n(m - 1),$$

pouvant avoir avec $p(x)$ des racines communes ; les intégrales sont toutes régulières dans tous les domaines de la variable, y compris celui de l'infini.

Nous nous occuperons de la détermination des intégrales dans le domaine d'un point x_0 où elles sont toutes régulières ; nous pouvons, après un changement de variable, supposer que $x_0 = 0$, de sorte que nous écrirons

$$(1)\quad f(D,x) = D^n + \frac{b_1(x)}{x} D^{n-1} + \frac{b_2(x)}{x^2} D^{n-2} + \ldots + \frac{b_n(x)}{x^n},$$

les coefficients b restant finis et continus pour $x = 0$.

(1) Ce théorème est dû à Fuchs. *Journal de Crelle*, 1866, t. LXVI, p. 121. Voir J. Tannery : Propriétés des intégrales des équations différentielles linéaires à coefficients variables. Thèse 1874. *Annales de l'École normale supérieure*, 1875, 2e série, t. IV, p. 113.

Digitized by Google

2. — **Décomposition d'une forme différentielle en facteurs symboliques.** — Le polynôme f est susceptible d'une décomposition en facteurs symboliques

$$f(D,x) = A_n A_{n-1} \dots A_2 A_1, \tag{2}$$

où l'on a d'une manière générale

$$A_i = D - \frac{\alpha_i(x)}{x}, \tag{3}$$

mais ces facteurs ne sont pas permutables sauf dans des cas spéciaux. L'étude systématique de cette décomposition et de l'analogie qui en résulte entre les équations différentielles et les équations algébriques a été faite principalement par M. G. Floquet [1] non seulement dans le cas des intégrales régulières, mais dans le cas général.

Si l'on connaît une intégrale y_1 de l'équation,

$$f(D, x)\, y = 0,$$

on peut former le premier facteur symbolique, qui est

$$A_1 = D - D \log y_1 = D - \frac{y_1'}{y_1}.$$

On vérifie, en effet, que l'équation $A_1 y = 0$ est satisfaite par $y = y_1$.

Pour effectuer la division de f (D, x) par ce facteur A, on fait la substitution

$$y = y_1 \int \frac{z}{y_1}\, dx = y_1 D^{-1} \frac{z}{y_1}, \tag{4}$$

qui donne inversement

$$z = y_1 D \frac{y}{y_1} = \left(D - \frac{y_1'}{y_1}\right) y = A_1 y,$$

de sorte que z est précisément solution de l'équation

$$f_1(D,x)\, z = f(D,x)\, \frac{1}{A_1} z = (A_n A_{n-1} \dots A_2)\, z = 0,$$

dont le premier membre est privé du facteur A_1.

Si l'on connaît une deuxième intégrale y_2 de l'équation donnée, on a par cela même une intégrale z_2 de l'équation en z, égale à $A_1 y_2$ ou à $y_1 D \frac{y_2}{y_1}$ et l'on en conclut la valeur du facteur symbolique A_2, qui est

$$A_2 = D - \frac{z_2'}{z_2};$$

la même méthode permet d'effectuer la division de f_1 par le facteur A_2 et ainsi de suite ; les facteurs symboliques successifs peuvent ainsi être déterminés de proche en proche si l'on connaît toutes les intégrales de l'équation donnée.

Inversement, si par une méthode quelconque on a déjà obtenu la décomposition de f (D, x) en facteurs symboliques, l'intégration de l'équation se ramène à celle d'équations du premier ordre et à des quadratures ; on peut suivre pour cela deux voies différentes. La première, qui s'applique surtout aux équations sans second membre, consiste à commencer l'opération par le premier facteur A_1 ; l'intégrale y_1 de l'équation

$$A_1 y = \left(D - \frac{\alpha_1(x)}{x}\right) y = 0,$$

est une intégrale de l'équation donnée ; on cherche ensuite l'intégrale z_2 de l'équation

$$A_2 z = \left(D - \frac{\alpha_2(x)}{x}\right) z = 0,$$

et on en conclut une deuxième intégrale y_2 de l'équation donnée, intégrale fournie par la formule (4), et ainsi de suite.

L'autre méthode s'applique plutôt aux équations avec second membre de la forme

$$f(D,x)\, y = A_n A_{n-1} \dots A_2 A_1 y = u(x) ;$$

on commence par intégrer l'équation

$$A_n v = u(x)$$

et l'on détermine soit sa solution générale soit une intégrale particulière lorsque par exemple le symbole A_{n-1} est susceptible d'une détermination principale ; si v est la solution ainsi calculée, on intègre ensuite l'équation

$$A_{n-1} w = v(x),$$

et ainsi de suite. Cette méthode correspond du reste à l'écriture symbolique

$$y = [A_n A_{n-1} \dots A_2 A_1]^{-1} u = A_1^{-1} A_2^{-1} \dots A_n^{-1} u;$$

celle-ci indique que l'on doit déterminer de proche en proche les fonctions

$$v = A_n^{-1} u, \qquad w = A^{-1}{}_{n-1}\, v, \dots ;$$

dans les applications, on n'a généralement besoin que d'une détermination principale de ces fonctions.

3. **Usage du changement de variable $x = e^t$.** — On voit, d'après cela, l'intérêt qu'il y aurait à effectuer à priori la décomposition de f (D, x) en ses facteurs symboliques. Ce n'est que dans un petit nombre de cas que l'on peut y parvenir ; en dehors des équations à coefficients constants, les seules qui aient été envisagées sont celles dont le premier membre est réductible à la forme (1) où b_1, b_2,... sont des constantes ; on ramène l'intégration de ces équations à celle des équations à coefficients constants en effectuant le changement de variable

$$x = e^t.$$

Pour éviter les confusions d'écriture, nous désignerons par D_x le symbole de la dérivation par rapport à x,

[1] G. Floquet. Sur la théorie des équations différentielles linéaires. Thèse-Paris 1879. *Annales de l'École normale supérieure*, 1879, 2e série, t. VIII, supplément p. 49 et 1884, 3e série, t. I, p. 405.

Digitized by Google

et par D_t celui de la dérivation par rapport à t; ils sont reliés par les identités

$$D_t = e^t D_x \qquad D_x = e^{-t} D_t.$$

Le calcul des dérivées successives D^n_x se fait par la formule générale

$$F(D_t)\,[e^{pt}u] = e^{pt} F(D_t + p)\,u; \tag{5}$$

d'où l'on déduit inversement

$$e^{pt} F(D_t)\,u = F(D_t - p)\,[e^{pt}u]; \tag{6}$$

Ces formules sont valables quelle que soit la signification de u, fonction ou symbole d'opération; elles permettent de faire sortir une exponentielle d'une forme différentielle ou de l'y faire rentrer; on en déduit alors successivement :

$$D_x = e^{-t} D_t,$$

$$D_x^2 = e^{-t} D_t\,[e^{-t} D_t] = e^{-2t}\,D_t - 1\,D_t,$$

$$D_x^3 = e^{-t} D_t [e^{-2t}(D_t - 1)D_t] = e^{-3t}(D_t - 2)\,(D_t - 1\,D_t,$$

et d'une manière générale, si l'on écrit pour simplifier l'écriture

$$\Pi_p\,D_t = (D_t - p + 1)\,(D_t - p + 2) \ldots (D_t - 1\,D_t,$$

on vérifie de proche en proche que l'on a

$$D_x^p = e^{-pt}\,\Pi_p(D_t).$$

On voit que la forme différentielle générale (1) se transforme en

$$f(D_x, x) = e^{-nt} F\,D_t, t),$$

où

$$F(D_t, t) = \Pi_n(D_t) + b_1\,e^t)\Pi_{n-1}\,D_t) + \ldots + b_n(e^t). \tag{7}$$

Dans le cas particulier où les coefficients b sont des constantes, la forme $F(D_t)$ est à coefficients constants, de sorte que l'intégration de l'équation sans second membre

$$f(D_x, x)\,y = 0,$$

se ramène à celle de

$$F(D_t)\,y = 0,$$

et sa solution générale est de la forme

$$y = P_1(t\,e^{r_1 t} + P_2\,t)e^{r_2 t} + \ldots$$
$$= x^{r_1} P_1(\log x) + x^{r_2} P_2(\log x) + \ldots$$

où $r_1, r_2, \ldots$ sont les racines de l'équation caractéristique $F(r) = 0$, et où $P_1, P_2, \ldots$ sont des polynômes à coefficients constants, de degrés respectivement inférieurs d'une unité aux ordres de multiplicité de ces racines. De la même manière, l'intégration de l'équation avec second membre

$$f(D_x, x)\,y = u(x),$$

se ramène dans le même cas à celle de l'équation

$$F(D_t)\,y = e^{nt} u(e^t),$$

et peut être effectuée par les méthodes que nous avons indiquées dans les précédents articles; l'opération $F(D_t)^{-1}$ est en général susceptible d'une détermination principale.

Dans le cas que nous venons de mentionner, la décomposition de $f(D_x, x)$ en facteurs symboliques du premier degré est toujours possible; désignons par $r_1, r_2, \ldots r_n$ les racines de l'équation caractéristique $F(r) = 0$, qu'elles soient égales ou inégales; posons

$$F(D_t) = (D_t - r_n)\,D_t - r_{n-1}) \ldots (D_t - r_2)\,(D_t - r_1),$$

$$F_1(D_t) = \frac{F(D_t)}{D_t - r_1} = D_t - r_n)\,(D_t - r_{n-1}) \ldots (D_t - r_2);$$

nous avons

$$f(D_x, x) = e^{-nt} F\,D_t) = e^{-n\ 1t}\,[e^{-t} F_1(D_t\ (D_t - r_1)],$$

et d'après la formule (6)

$$f(D_x, x) = e^{-(n-1)t} F_1(D_t + 1)\,[e^{-t}\,(D_t - r_1)].$$

La parenthèse est précisément égale à $D_x - \frac{r_1}{x}$; quant à la forme $F_1(D_t + 1)$, elle est égale à

$$(D_t - r_{n+1})\,D_t - r_{n-1} + 1) \ldots (D_t - r_2 + 1),$$

et a pour racines les nombres $r_2, r_3, \ldots r_n$ diminués d'une unité. En opérant de même sur F_1, et faisant entrer e^{-t} dans son dernier facteur symbolique, puis continuant de proche en proche, on aura

$$f(D_x, x) = [e^{-t}(D_t - r_n + n - 1)]\,[e^{-t}\,D_t - r_{n-1} + n - 2)] \ldots [e^{-t}\,D_t - r_1]$$
$$= \left(D_x - \frac{r_n - n + 1}{x}\right)\left(D_x - \frac{r_{n-1} - n + 2}{x}\right) \ldots \left(D_x - \frac{r_1}{x}\right),$$

ce qui met en évidence les facteurs symboliques de la forme (3) et la décomposition (2). Remarquons que si cette décomposition est intéressante au point de vue théorique, elle n'est pas d'une grande utilité pour l'intégration de l'équation différentielle, puisque cette intégration se fait en utilisant seulement les valeurs numériques des racines $r_1, r_2, \ldots r_n$.

4. — **Intégration des équations linéaires et homogènes à coefficients variables.** — Lorsque les coefficients $b_1, b_2, \ldots b_n$ des formes (1) et (7) ne sont pas constants, et sont des polynomes entiers en x ou des fonctions développables en séries entières de x dans le domaine de $x = 0$, la forme différentielle (7) peut être développée suivant les puissances croissantes de e^t, et s'écrire

$$F(D_t, t) = F_0(D_t) + e^t F_1(D_t) + e^{2t} F_2(D_t) + \ldots,$$

les fonctions $F_0, F_1, \ldots$ étant des polynômes entiers dont le premier

$$F_0(D_t) = \Pi_n(D_t) + b_1(0)\,\Pi_{n-1}(D_t) + \ldots + b_n(0),$$

Digitized by Google

est toujours de degré n; ce polynôme joue un rôle important, et l'équation

$$F_0(r) = \Pi_n(r) + b_1(0)\,\Pi_{n-1}(r) + \ldots + b_n(0) = 0,$$

est analogue à l'équation caractéristique des équations à coefficients constants; on l'appelle *équation fondamentale déterminante;* nous verrons qu'il est possible de trouver n intégrales particulières distinctes de l'équation différentielle, appartenant respectivement aux n racines de cette équation déterminante.

Remarquons d'abord que si l'on fait le changement de fonction défini par

$$y = x^{r_1}Y = e^{rt}Y,$$

on a

$$F(D_t, t)y = F_0(D_t)\,[e^{rt}Y] + e^t F_1(D_t)\,[e^{rt}Y] + \ldots\ldots$$

et, d'après la formule (5), cette quantité est égale à

$$e^{rt}[F_0(D_t + \rho) + e^t F_1(D_t + \rho) \ldots]\,Y,$$

on voit que l'équation homogène à laquelle satisfait Y se déduit de l'équation donnée en y remplaçant D_t par $D_t + \rho$; en particulier les racines de l'équation fondamentale déterminante relative à Y sont égales à celles de l'équation relative à y, diminuées de ρ. Cette remarque permet de ramener le calcul des intégrales à un autre plus simple, se rapportant au cas où l'équation fondamentale a une racine nulle. G. Boole [1] a étudié plus particulièrement les équations qu'il appelle *binômes*, pour lesquelles $F(D_t)$ ne renferme que deux termes $F_0(D_t) + e^{kt}F_k(D_t)$ et a montré que dans certains cas spéciaux elles se ramènent à des équations à coefficients constants; nous n'entrerons pas dans le détail de ses calculs, mais nous allons montrer comment on peut, même dans d'autres cas que ceux des équations binômes, déterminer les intégrales à l'aide de développements en série.

Soit r_1 une racine de l'équation fondamentale déterminante telle que les différences $r_2 - r_1$, $r_3 - r_1$, ... $r_n - r_1$ entre les autres racines et celle que l'on considère ne sont pas des nombres entiers positifs; nous allons montrer qu'il existe une intégrale appartenant à l'exposant r_1, de la forme

$$y_1 = x^{r_1}(C_0 + C_1 x + C_2 x^2 + \ldots),$$

C_0 étant un coefficient indéterminé non nul, et les coefficients suivants étant déterminés au moyen du premier; nous allons en même temps indiquer un mode de calcul simple pour ces coefficients.

Effectuons d'abord le changement

$$y = x^{r_1}Y,$$

ce qui ramène l'équation à la forme

$$[F_0(D_t + r_1) + e^t F_1(D_t + r_1) + \ldots + e^{pt}F_p(D_t + r_1) + \ldots]\,Y = 0,$$

faisons ensuite rentrer les facteurs exponentiels sous la forme symbolique, d'après la formule (6), ce qui donne

$$F_0(D_t + r_1)\,Y + F_1(D_t + r_1 - 1)\,e^t Y + \ldots + F_p(D_t + r_1 - p)\,[e^{pt}Y] + \ldots = 0.$$

Nous écrirons cette équation

$$\varphi_0(D_t)Y + \varphi_1(D_t)\,(e^t Y] + \ldots + \varphi_p(D_t)\,(e^{pt}Y) + \ldots = 0;$$

le premier terme égalé à zéro fournit l'équation fondamentale déterminante relative à Y

$$\varphi_0(r) = 0,$$

cette équation a, par suite de l'hypothèse faite, une racine égale à zéro et n'a aucune racine entière positive.

En remplaçant Y par sa valeur

$$Y = C_0 + C_1 x + C_2 x^2 + \ldots = C_0 + C_1 e^t = C_2 e^{2t} + \ldots,$$

remarquant que l'on a d'une manière générale

$$\varphi_k(D_t)\,(e^{kt}Y) = C_0\varphi_k(k)e^{kt} + C_1\varphi_k(k+1)e^{(k+1)t} + \ldots + C_m\varphi_k(k+m)\,e^{(k+m)t} + \ldots,$$

et annulant séparément les coefficients des différentes puissances de e^t, on a les équations successives

$$(8)\quad \begin{cases} C_0\varphi_0(0) = 0, \\ C_1\varphi_0(1) + C_0\varphi_1(1) = 0, \\ C_2\varphi_0(2) + C_1\varphi_1(2) + C_0\varphi_2(2) = 0, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ C_m\varphi_0(m) + C_{m-1}\varphi_1(m) + \ldots + C_{m-p}\varphi_p(m) + \ldots = 0, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{cases}$$

la première montre que C_0 est indéterminé, puisque $\varphi_0(0)$ est nul; les autres fournissent pour les coefficients suivants C_1, C_2,.. des valeurs déterminées, proportionnelles à C_0; les coefficients $\varphi_0(1)$, $\varphi_0(2)$,... $\varphi_0(m)$,... n'étant jamais nuls.

Le nombre des termes de la formule qui donne C_m est limité pour toute valeur de m lorsque le nombre des exponentielles e^{pt} est fini, ou lorsque les fonctions b_1, b_2,.. sont des polynômes, mais rien n'empêche de supposer qu'elles sont des fonctions représentées par des séries entières illimitées.

Lorsque les racines r_1, r_2,... r_n de l'équation fondamentale déterminante sont toutes distinctes, et que la différence de deux quelconques d'entre elles n'est pas un entier, on peut obtenir par la méthode précédente n intégrales particulières, de la forme

$$x^{r_1}S_1(x), \quad x^{r_2}S_2(x), \quad \ldots, \quad x^{r_n}S_n(x),$$

les fonctions S étant des séries entières. Lorsqu'il y a un groupe de racines r_1, r_2,.. r_p égales ou différant les unes des autres d'un nombre entier, on peut toujours supposer que r_1 est égale ou supérieure à toutes les autres racines du même groupe; la méthode précédente fournit alors une intégrale appartenant à l'exposant r_1, mais ne peut pas en donner d'autre; si par exemple on avait $r_2 = r_1 - m$, on se trouverait arrêté dans la réso-

(1) G. Boole. *A Treatise on differential equations*, 1859; 4e édition, 1877, p. 381-412.

Digitized by Google

lution des équations analogues à (8) et relatives à la racine r_2 par un coefficient $\varphi_0(m)$ égal à zéro.

Il est cependant possible de trouver des intégrales régulières distinctes de l'équation différentielle en nombre égal à l'ordre de cette équation, en opérant comme nous l'avons dit précédemment. Soit $r_1, r_2, \dots r_p$ un groupe de racines de l'équation fondamentale déterminante dont les différences soient nulles ou entières, et telles que l'on ait

$$r_1 \geq r_2 \geq r_3 \dots \geq r_p.$$

Nous savons calculer une intégrale régulière

$$y = x^{r_1} S_1(x)$$

appartenant à l'exposant r_1 ; faisons le changement de variable (4) ; nous avons reconnu dans un cas particulier, et un raisonnement analogue le montrerait dans le cas général, que l'équation fondamentale déterminante relative à z a pour racines $r_2 - 1$, $r_3 - 1, \dots r_p - 1, \dots$; on peut donc déterminer une intégrale régulière z_2 appartenant à l'exposant $r_2 - 1$, de la forme

$$z_2 = x^{r_2 - r_1} S_2(x),$$

on en déduit alors une intégrale y_2 de l'équation différentielle donnée, par la formule

$$y_2 = y_1 \int \frac{z_2}{y_1} dx = x^{r_1} S_1(x) \int \frac{S_2(x)}{x^{r_1 + 1 - r_2} S_1(x)} dx ;$$

si le quotient $\frac{S_2(x)}{S_1(x)}$ entrant dans la dernière quadrature est développé suivant les puissances croissantes de x, sous la forme

$$d_0 + d_1 x + \dots + d_{r_1 - r_2} x^{r_1 - r_2} + \dots$$

le coefficient d_0 n'étant pas nul, on voit que y_2 peut se mettre sous la forme

$$y_2 = x^{r_2} S_{20}(x) + d_{r_1 - r_2} x^{r_1} S_1(x) \log x,$$

et appartient à l'exposant r_2 ; l'expression de cette intégrale renferme toujours un logarithme si $r_2 = r_1$; elle peut ne pas en renfermer si $r_2 < r_1$ et si $d_{r_1 - r_2} = 0$.

S'il existe d'autres racines $r_3, \dots r_p$ de l'équation fondamentale déterminante faisant partie du groupe de racines considéré, le même procédé de calcul peut être utilisé pour déterminer des intégrales $y_3, \dots y_p$ de l'équation différentielle ; on verrait qu'elles sont régulières, appartiennent respectivement aux exposants $r_3, \dots r_p$ et leurs expressions peuvent se mettre sous la forme

$$y_k = x^{r_k} [S_{k0}(x) + S_{k1}(x) \log x + \dots + S_{k-1}(x) \log^{k-1} x],$$

k prenant les valeurs $1, 2, \dots p$, les fonctions S étant des séries entières, et quelques-uns des termes en logarithmes pouvant disparaître.. On aboutit de cette façon à un système complet de n intégrales de l'équation différentielle qui sont régulières et indépendantes.

Le calcul des coefficients des séries S peut être effectué en écrivant que y_k satisfait à l'équation différentielle, après avoir effectué le changement de variable $x = e^t$.

5. **Intégration des équations linéaires avec second membre.** — Les mêmes méthodes s'appliquent à l'intégration d'une équation avec second membre

$$f(D_x, x)\, y = u(x) ;$$

par le changement de variable $x = e^t$, elle se transforme dans l'équation

$$e^{-nt} F(D_t, t)\, y = u(e^t),$$

Supposons que $u(x)$ soit une fonction régulière dans le domaine de $x = 0$, et appartienne à l'exposant ρ, de telle sorte que l'on ait

$$u(x) = x^\rho U(x), \qquad u(e^t) = e^{\rho t} U(e^t),$$

$U(x)$ étant une série entière non nulle pour $x = 0$, de la forme

$$U(x) = d_0 + d_1 x + d_2 x^2 + \dots + d_m x^m + \dots ;$$

si l'équation fondamentale déterminante $F_0(r) = 0$ n'a pas de racine égale à $\rho + n + m$, m étant un entier positif ou nul, on pourra trouver une solution particulière de l'équation de la forme

$$y = x^{\rho + n} S(x),$$

où S est une série entière en x, en employant la méthode des coefficients indéterminés, et posant

$$S(x) = C_0 + C_1 x + C_2 x^2 + \dots + C_m x^m + \dots,$$

Il suffit de répéter le calcul déjà fait, de déterminer les fonctions

$$\varphi_0 = F_0(D_t + \rho + n), \qquad \varphi_1 = F_1(D_t + \rho + n - 1),$$

et d'écrire des équations analogues à (8), en prenant comme seconds membres respectivement les coefficients $d_0, d_1, d_2, \dots$ de la série $U(x)$.

Si l'équation fondamentale déterminante a une racine égale à $\rho + n + m$ où m est un entier positif ou nul, le calcul précédent ne peut être employé, sauf dans des cas tout à fait particuliers ; il faut recourir à la méthode classique de la variation des constantes, ou chercher par la méthode des coefficients indéterminés une solution particulière de la forme

$$y = x^{\rho + n} [S_0(x) + S_1(x) \log x + \dots],$$

$S_0, S_1, \dots$ étant des séries entières en x.

Les méthodes du calcul symbolique ne sont pas indispensables pour résoudre les questions précédentes, mais elles offrent des avantages pour le calcul rapide des

Digitized by Google

coefficients des séries qui sont les intégrales des équations différentielles.

6. **Application. Intégration de l'équation de Bessel.** — Considérons l'équation de Bessel écrite sous la forme

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \frac{1}{x}\frac{dy}{dx} + \left(1 - \frac{n^2}{x^2}\right) y = 0,$$

la transformation $x = e^t$ la ramène, comme dans le calcul de la forme (7) à

$$e^{-2t} F(D_t, t)\, y = 0,$$

où l'on a

$$F(D_t, t) = D_t(D_t - 1) + D_t + e^{2t} - n^2 = D_t^2 - n^2 + e^{2t}.$$

L'équation fondamentale déterminante est

$$F_0(r) = r^2 - n^2 = 0,$$

et a pour racines

$$r_1 = +n,\ r_2 = -n.$$

Si n, supposé positif, n'est ni nul, ni entier, ni la moitié d'un entier, il existe deux intégrales simples de l'équation, appartenant respectivement aux exposants $+n$ et $-n$; nous allons déterminer la première en posant

$$y = x^n Y,$$

ce qui conduit, pour déterminer Y, à l'équation

$$F(D_t + n, t)\, Y = (D_t^2 + 2nD_t + e^{2t})\, Y = 0.$$

Les fonctions φ des formules (8), sont ici

$$\varphi_0 = D_t(D_t + 2n),\quad \varphi_1 = 0,\quad \varphi_2 = +1$$

de sorte que C_0 reste arbitraire, C_1 est nul, ainsi que tous les coefficients d'indice impair, et l'on a d'une manière générale pour m pair

$$m(m + 2n)\, C_m + C_{m-2} = 0,$$

on obtient ainsi, pour un choix particulier de C_0, la solution désignée par $J_n(x)$

$$J_n(x) = \frac{\left(\frac{x}{2}\right)^n}{\Gamma(1+n)}\left[1 - \frac{\left(\frac{x}{2}\right)^2}{1(n+1)} + \frac{\left(\frac{x}{2}\right)^4}{1.2(n+1)(n+2)} - \dots\right].$$

cette série est convergente pour toute valeur de x. Les solutions appartenant à l'exposant n ne diffèrent de $J_n(x)$ que par un facteur constant; celles qui appartiennent à l'exposant $-n$ se déduisent des précédentes en changeant simplement n en $-n$.

Lorsque n est nul, ou entier ou la moitié d'un entier, la différence $r_1 - r_2 = 2n$ entre les deux racines de l'équation $F_0(r) = 0$ est nulle ou entière; le calcul précédent est toujours valable pour la racine positive $r_1 = n$; $J_n(x)$ est une intégrale de l'équation qui reste toujours finie pour $x = 0$, et cela quel que soit n. Quant à une deuxième intégrale de l'équation, on l'obtiendra, comme nous l'avons dit, en posant

$$y = y_1 \int \frac{z}{y_1}\, dx,$$

ce qui conduit pour déterminer z à l'équation

$$\left[D + \left(\frac{y'_1}{y_1} + \frac{1}{x}\right)\right] z = 0,$$

la solution z_2 de cette équation est

$$z_2 = \frac{C_2}{x\, J_n^2(x)},$$

de sorte que l'on a pour deuxième intégrale particulière de l'équation de Bessel

$$y_2 = J_n(x) \int \frac{dx}{x\, J_n^2(x)};$$

Cette deuxième intégrale, qui devient infinie pour $x = 0$ et constitue la fonction de Bessel de deuxième espèce, contient un logarithme dans son expression; en particulier pour $n = 0$, on démontre, par un calcul, que nous ne reproduirons pas, qu'elle a pour valeur la somme

$$J_0(x) \log x + J_2(x) - \frac{1}{2} J_4(x) + \frac{1}{3} J_6(x) - \dots.$$

Remarquons que l'équation que nous avons obtenue pour déterminer $Y = x^{-n} y$

$$F_t(D_t + n, t)\, Y = (D_t^2 + 2nD_t + e^{2t})\, Y = 0,$$

n'est autre que celle à laquelle conduirait la transformation de l'équation différentielle

$$\frac{d^2Y}{dx^2} + \frac{2n+1}{x}\frac{dY}{dx} + Y = 0;$$

on voit donc que cette dernière équation a une intégrale égale à $\frac{J_n(x)}{x^n}$.

Nous renverrons au traité de Boole pour d'autres applications du calcul symbolique à l'intégration d'équations différentielles à coefficients variables. Ce qui précède suffit à montrer les ressources offertes par ce calcul et mises largement à profit par les auteurs anglais, pour la résolution de certains problèmes que l'on rencontre en Physique mathématique.

H. Vogt,
Directeur de l'Institut électrotechnique et de Mécanique appliquée de Nancy.

Digitized by Google

SECTION INDUSTRIELLE

Consommation d'énergie électrique dans la fabrication de divers produits de l'Électrochimie et de l'Électrométallurgie

Il nous a paru intéressant de publier un résumé des résultats obtenus dans les industries électrochimiques et électrométallurgiques, en se plaçant plus spécialement au point de vue électrique, c'est-à-dire du rendement de l'énergie mise en œuvre. L'auteur a réuni des chiffres récemment publiés et y a joint un certain nombre de considérations personnelles. Il faut remarquer que beaucoup de conclusions relatives aux prix ont été profondément modifiées, plus ou moins temporairement, par la guerre.

Dans ce qui suit, nous envisagerons principalement deux facteurs : 1° l'énergie requise en *kilowatts-heures* pour la fabrication *d'une tonne* de produit ; 2° la production de *un kilowat-an* en *tonnes* du produit. Ces deux nombres suffisent largement et il nous paraît inutile de compliquer par des considérations de kilowatts-jours, ou autres qui tendent à s'introduire, ne sont justifiées par rien de sérieux et créent des confusions.

On a supposé que 1 kw-an = 8760 kw-h, c'est-à-dire que la production annuelle s'applique au cas de fabrications sans arrêt.

Les chiffres publiés par les différents auteurs ont été, quand nécessaire, corrigés selon ces règles.

Les prix d'estimation se rapportent à l'année 1914, avant la guerre ; ils ne sont d'ailleurs, et ne peuvent être, que des approximations. On a tiré de ces prix la proportion représentée par l'énergie électrique nécessaire. On a indiqué aussi la proportion dont affecte le prix chaque millime de variation du coût du kilowatt-heure, considération que certains industriels aiment à voir en évidence.

Pour un certain nombre de produits, on a ajouté la consommation théorique d'énergie basée sur les données de la thermo-chimie. Il est intéressant de comparer avec les résultats industriels ces chiffres qui représentent l'énergie potentielle des corps mis en présence relativement à celle des corps obtenus ; la différence entre le résultat de cette comparaison et l'énergie électrique nécessaire constitue les pertes ou l'énergie transformée en chaleur. Il est encore nécessaire de considérer si, pour un procédé donné, toute cette énergie transformée en chaleur est une perte intégrale ou simplement partielle. Par exemple, dans la fabrication des chlorates, toute l'énergie transformée en chaleur est inutile ou même nuisible puisqu'on doit l'enlever souvent par une réfrigération ; dans la fabrication de l'aluminium, au contraire, on pourrait évidemment concevoir la possibilité théorique d'appareils tellement bien protégés et calorifugés que l'énergie nécessaire pour tenir le bain liquide y fût très faible, mais pratiquement on ne pourrait espérer qu'il n'y eût aucune déperdition de chaleur : une portion donc de cette énergie transformée en chaleur, quoique constituant ce qu'on peut appeler une perte, n'est pas inutile. Cependant rien ne s'oppose à ce que cette énergie nécessaire à tenir le bain fondu soit réduite considérablement, tandis que l'énergie nécessaire à la réduction de l'alumine restera toujours parfaitement déterminée à la même valeur et doit se fournir inéluctablement, quel que soit l'appareillage employé.

On peut tirer de ces considérations quelques idées sur la possibilité théorique de perfectionnements importants, eu égard à l'économie d'énergie électrique pour une production déterminée.

Pour chacun des corps, les paragraphes A et B se rapportent respectivement aux questions de production et de prix. Dans la catégorie A, les divisions indiquées par les petites lettres *a*, *b*, *c*,... se rapportent aux diverses valeurs tirées des différents auteurs ou des différents procédés ou encore de considérations théoriques.

Beaucoup de chiffres indiqués proviennent de :

a) Flusin « Journal du Four électrique », novembre 1918, en abrégé (Flu) ;

b) « Journal du Four électrique », mars 1918, en abrégé (Jfe) ;

c) L'ouvrage de Stansfield « The Electric Furnace », 1914, en abrégé (Sta) ;

d) Le « Bulletin du Department of Interior », de Washington, 1916, en abrégé (Dius) ;

e) L'ouvrage de Richard « Metallurgical Calculations » 1910, en abrégé (Ric).

Aluminium. — Electrolyse à chaud d'alumine dissoute dans la cryolithe.

A. — *a*). (Flu) de 27 000 à 30 000 kw-h par tonne, soit 0,280 à 0,325 t : kw-an ;

b) (Jfe) de 29 500 à 32 000 kw-h : t, soit 0,275 à 0,295 t : kw-an ;

c) (Dius) de 33 000 à 36 000 kw-h : t, soit 0,245 à 0,265 t : kw-an.

Digitized by Google

d) (Sta) La consommation d'énergie normale serait de 32 500 à 42 000 kw-h : t, soit 0,210 à 0,270 t : kw-an.

Mais dans beaucoup d'usines, on arrive seulement à, de 43 500 à 56 500 kw-h : t, soit 0,155 à 0,200 t : kw-an.

e) D'après les bons chiffres obtenus dans les usines françaises, on aurait 30 000 kw-h : t, soit 0,290 t : kw-an avec les cuves moyennes, de 10 000 A environ, et on atteindrait avec celles de 20 000 A marchant dans les meilleures conditions : 26 000 kw-h : t, soit 0,340 t : kw-an.

f) Remarquer que les bas chiffres américains (Dius) (Sta) proviennent probablement de ce que les usines de l'Aluminum Company of America emploient, ou tout au moins employaient jusqu'à ces derniers temps, presque exclusivement de petites cuves avec un grand nombre de très petites électrodes, de moins de 10 000 A généralement, comme la cuve primitive de Hall.

g) La dissociation de l'alumine selon la réaction :

$$Al^2O^3 = Al^2 + O^3 - 392600 \text{ calories}$$

indique que la production théorique correspondrait à 8 450 kw-h par tonne.

Si on considérait la réaction :

$$Al^2O^3 + 3C = Al^2 + 3CO - 305\,100 \text{ calories},$$

la production théorique correspondrait à 6570 kw-h : t. et une consommation encore plus faible si on envisageait la production de CO^2.

Le premier de ces chiffres, 8 450 kw-h : t, comparé à la consommation normale réelle de 26 000 à 40 000 kw-h correspond à un rendement de 21 à 32,5 pour 100, ce qui montre que 67 à 79 pour 100 de l'énergie servent en définitive à surchauffer les salles de fabrication. Sur ces 72 pour 100 en moyenne, on pourrait économiser une certaine proportion par des dispositifs variés qui ne se répandent pas sans doute parce qu'ils correspondent à des changements d'habitudes ou à une certaine gêne des opérations. Ces économies se traduiraient presque intégralement par la réduction de tension des cuves.

Si on adoptait le second chiffre, ou 6570 kw-h : t, le rendement tomberait alors de 16 à 25 pour 100 seulement.

Avec une fabrication par électrolyse du genre de celle de l'aluminium, et quoique une partie de la chaleur provenant de la combustion des électrodes reste dans le cuve, le premier chiffre est probablement le plus rationnel à retenir.

Au contraire, si on réussissait à réduire directement l'alumine par le charbon par simple chauffage électrique sans électrolyse comme on le fait déjà pour le ferro-aluminium et comme certains brevets sans application jusqu'ici le revendiquent pour l'aluminium pur, au moyen de fours qui pourraient atteindre, en les comparant à des appareils existants, un rendement de 60 pour 100, c'est-à-dire ne perdre que 40 pour 100 de l'énergie sous forme de chaleur sortant de l'appareil, il faudrait alors prendre le second chiffre théorique de 6570 kw-h : t et avec le rendement ci-dessus, en pratique 11 000 kw-h : t. On gagnerait ainsi presque 20 000 kw-h par tonne, ou, à 0,01 fr le kilowatt-heure, 0,20 fr par kilogramme d'aluminium sur l'énergie électrique.

Richards est donc peut-être dans le vrai en rappelant que dès maintenant il vaudrait mieux fabriquer l'aluminium pour fonderie d'acier sous forme de ferro-aluminium à 60 pour 100. Il est vrai qu'on gagnerait alors beaucoup également en partant de la bauxite au lieu de l'alumine pure. Richards évalue le prix commercial à 1, 10 fr le kilogramme d'aluminium contenu.

h) Il est également intéressant de considérer la production pratique par ampère-heure en comparaison avec la production théorique. On se rend compte ainsi des raisons pour lesquelles on consomme trop d'énergie. Si ce rendement est bas, c'est qu'on a des dérivations de courant inutiles, ou que des réactions secondaires se produisent. S'il est élevé, c'est qu'alors la tension est plus grande que la tension théorique, ce qui est dû à des pertes de chaleur ou à un bain trop résistant, ou à de mauvais contacts, ou des sections insuffisantes pour le passage du courant. 1 A-h dépose 0,000337 kg d'après l'équivalent de l'aluminium. 1 t d'aluminium nécessite donc théoriquement 2970 kA-h. En pratique les meilleurs chiffres sont de 3900 kA-h, et on a assez souvent 4500 kA-h, d'où un effet utile en quantité de 66 à 76 pour 100.

Approximativement, si on admet 8 450 kw-h par tonne, c'est-à-dire que la combustion du charbon est perdue complètement, il faudrait 8 450 kw-h = 2970 kA-h × 2,85 v, en pratique il faut 26 000 kw-h = 3900 kA-h × 6,65 v au minimum et souvent 30 000 kw-h = 4250 kA-h × 7,05 v.

Le rapport de la tension théorique à la tension pratique est donc environ 40 pour 100.

B. — Si on admet les meilleures consommations actuelles de 26 000 à 30 000 kw-h : t, qu'on estime le kilowatt-heure à 0,01 fr et le prix de vente d'une tonne d'aluminium à 1 800 fr, l'énergie coûterait ainsi 260 à 300 fr, soit 14,5 à 16,5 pour 100 du prix de vente.

Toute variation de 1 millime du prix du kilowatt-heure correspondra à environ 1,5 pour cent du prix de vente.

Sodium. — Electrolyse à chaud de la soude caustique fondue, et pour certains procédés jusqu'ici expérimentaux, du chlorure de sodium fondu. Les chiffres ci-dessous se rapportent seulement au cas de la soude.

A. — *a*) (Flu) 20 000 kw-h : t, soit 0,440 t : kw-an ;

b) (Jfe) 14 500 kw-h : t soit 0,600 t : hw-an ;

c) (Sta) 13 000 kw-h : t (procédé Castner), soit 0,675 t : kw-an ;

d) (Hulin) 20 000 à 22 000 kw-h : t, soit 0,400 à 0,440 t : kw-an ;

e) Au point de vue théorique, la réaction

$2NaOH = Na^2 + O + H^2O$ (vap) — 147 300 calories

amène à 3740 kw-h : t.

Une réduction qui transformerait du carbone en oxyde au moyen de l'oxygène libéré serait représentée par

Digitized by Google

$2\,NaOH + C = Na^2 + CO + H^2O$ — 118 200 calories, amenant à 3 000 kw-h : t.

Le premier chiffre de 3 740 kw-h : t, qui s'applique le mieux à une telle opération d'électrolyse, correspondrait ainsi, en comparaison de 20 000 kw-h : t (Flu) (Hulin), à un rendement de 19 pour 100, ou 81 pour 100 de l'énergie passant définitivement dans l'air environnant. Le meilleur rendement, avec 13 000 kw-h : t (Sta) (procédé Castner, usine de Niagara), serait de 29 pour 100.

Même en tenant compte de cette dernière valeur qui paraît élevée en comparaison des autres sources qualifiées de renseignements, l'électrolyse du sodium serait donc plutôt inférieure, comme rendement, à celle très analogue, de l'aluminium dans les meilleures usines. Ceci s'expliquerait facilement par la taille des appareils respectivement employés et par le développement plus grand de la fabrication de l'aluminium qui a contribué à hâter les progrès.

Si on électrolysait le chlorure de sodium à chaud, l'équation

$$2\,NaCl = Na^2 + Cl^2 - 195\,800 \text{ calories}$$

amènerait à 4 950 kw-h : t de sodium, comme consommation minimum théorique.

f) La production théorique de sodium par ampère-heure est de 0,000857 kg.

1 t de sodium nécessite donc 1 170 kA-h.

En adoptant 3 740 kw-h théoriques par cuve, il faudrait :

$$3\,740 \text{ kw-h} = 1\,170 \text{ kA-h} \times 3{,}2 \text{ v}.$$

Les chiffres pratiques, correspondant à 20 000 kw-h sont

$$20\,000 \text{ kw-h} = 4000 \text{ kA-h} \times 5 \text{ v};$$

d'où un rapport des quantités de 29 pour 100 et un rapport des tensions de 64 pour 100, chiffres inversés par rapport à l'aluminium.

Cela peut tenir à ce que la soude contient de l'eau, et qu'une partie du courant sert à l'électrolyser, car pour une opération aussi simple que l'électrolyse de la soude, on pourrait espérer un meilleur dépôt par unité de quantité d'électricité.

Si on admet le chiffre de 13 000 kw-h = 2 600 kA-h × 5 v, donné pour le procédé Castner, le rapport des quantités monte à 45 pour 100.

B. — La tonne de sodium étant évaluée à 2 000 fr et l'énergie étant estimée à 0,01 fr le kilowatt-heure, le courant électrique, avec 20 000 kw-h : t représente donc 200 fr, ou 10 pour 100.

Chaque millime de variation du prix du kilowatt-heure intervient à raison de 1 pour 100.

Les meilleurs chiffres publiés abaisseraient les 10 pour 100 ci-dessus à 6,5 pour 100.

Chlore et soude. — Electrolyse du chlorure de sodium en solution dans l'eau.

A. — *a*) (Flu) 4000 kw-h : t de chlore ; 3 600 kw-h : t de soude, soit 2,2 t par kw-an, et 2,45 t par kw-an.

b) Les chiffres ci-dessus correspondent à ce qu'on observe avec les procédés à diaphragme. Le procédé Solvay amènerait plutôt à 4800 kw-h : t de chlore ; 4 500 kw-h : t de soude, soit 1,85 t : kw-an, et 1,95 t : kw-an.

c) Remarquer que, dans l'électrolyse aqueuse, on peut faire marcher pratiquement la même cellule à des régimes très variables ; qu'en général, dans des limites assez étendues, on peut forcer la production en réduisant le rendement par kilowatt-heure, parce que le rendement par ampère-heure reste à peu près le même, et que la tension augmente avec la densité de courant à cause de la résistance de l'électrolyte. En forçant le courant, on utilise donc mieux le matériel et on consomme plus d'énergie ; chaque installation doit établir la balance entre ces deux facteurs.

d) Le rendement théorique des électrolyseurs à diaphragme se détermine par les équations

$$2\,NaCl = Na^2 + Cl^2 - 193\,200 \text{ calories}$$

$$Na^2 + 2\,H^2O = 2\,NaOH + H^2 + 87\,000 \text{ calories}$$

qui correspondent à la décomposition du chlorure de sodium, puis à l'attaque de l'eau par ce métal, laquelle apporte une certaine régénération d'énergie.

Il reste donc 106 200 calories qui amèneraient à 1 750 kw-h : t de chlore.

Le rendement serait donc de 44 pour 100 avec les procédés industriels en usage.

e) Dans le cas du procédé Solvay, et autres procédés à l'amalgame, on peut soit considérer d'abord la perte dans la pile comme faisant partie de la considération de rendement, soit la mettre de côté ; c'est une simple affaire d'appréciation, quoique, pour comparer aux procédés à diaphragme, il faille évidemment en tenir compte.

Avec le chiffre déterminé, comme ci-dessus, de 1750 kw-h : t de chlore théorique, et 4 800 pratique, le rendement est 36 pour 100.

Si on défalque l'énergie d'oxydation du sodium, on arrive théoriquement, comme il a été montré ci-dessus, à 193 200 calories, soit 3 170 kw-h : t, et toujours 4 800 pratiquement, soit 66 pour 100 de rendement. Ce chiffre n'a d'autre intérêt que de montrer que la régénération d'énergie dans les procédés à diaphragme se fait avec un mauvais rendement.

f) Un ampère-heure doit produire 0,00132 kg de chlore, c'est-à-dire que la tonne de chlore demanderait théoriquement 757 kA-h.

La cuve devrait donc recevoir, par tonne de chlore :

$$1\,750 \text{ kw-h} = 757 \text{ kA-h} \times 2{,}3 \text{ v},$$

au lieu de

$$4\,000 \text{ kw-h} = 1\,065 \text{ kA-h} \times 3{,}75 \text{ v},$$

ce qui correspond à des rapports 71 et 62 pour 100 pour le procédé avec diaphragme, et

$$4\,800 \text{ kw-h} = 980 \text{ kA-h} \times 4{,}9 \text{ v}$$

Digitized by Google

ce qui donne des rapports 77 et 47 pour 100 pour le procédé avec le mercure.

Mais, comme nous l'avons dit, on peut augmenter le rendement en énergie, en diminuant la tension par réduction de l'intensité dans un appareil donné Au contraire. on a quelquefois intérêt à forcer l'intensité en sacrifiant de parti pris le rendement et diminuant en même temps les frais d'établissement pour une production donnée.

B. — Au prix de 0,01 fr le kw-h, la dépense d'énergie variera de 40 à 48 fr par tonne de chlore, et de 36 à 45 fr par tonne de soude, les deux produits étant obtenus à la fois.

Le chlore étant vendu à raison de 400 fr la tonne sous forme liquide et 350 fr sous forme de chlorure de chaux (prix très variables), la soude étant estimée 400 fr la tonne, le prix de l'énergie électrique intervient dans les prix de vente totaux pour une moyenne de 5 à 6 pour 100.

Chaque millime d'augmentation du prix du kilowatt-heure affectera le prix de vente de 0,5 pour 100.

Chlorate de sodium. — Electrolyse aqueuse du chlorure de sodium, le sodium produit donne de la soude et de l'hydrogène; l'action de la soude et du chlore donne du chlorate de sodium.

A. — *a*) (Flu) 8 000 kw-h : t soit 1,1 t : kw-an.

b) Les usines marchent souvent avec une production de 0,5 g : A-h et une tension de 3,2 à 3,5 v, variable avec la densité de courant et la disposition des bacs (même remarque que pour le chlore), ce qui fait de 6 400 à 7 000 kw-h : t, soit 1,25 à 1,35 t : kw-an.

c) Au point de vue théorique, on pourrait considérer l'énergie potentielle représentée par le chlorate et celle représentée par le chlorure, mais ce ne serait pas applicable à l'opération, car en réalité on fabrique du chlore et le chlorate n'est pas un produit d'électrolyse, mais un produit d'action secondaire purement chimique.

Les équations

$$6NaCl = 6Na + 6Cl$$
$$6Na + 6H^2O = 6NaOH + 6H$$
$$6Cl + 6NaOH = 5NaCl + ClO^3Na + 3H^2O$$

montrent qu'on produit $ClO^3Na = 106,5$ avec $6Cl = 213$, soit exactement la moitié du poids de chlore.

En se reportant à l'article « Chlore » A. *d*), on voit que, théoriquement, il faut 3 500 kw-h par tonne de chlorate.

Le rendement avec les bonnes fabrications fonctionnant à raison de 6 400 à 7 000 kw-h : t atteint donc 50 à 55 pour 100; on l'augmente en réduisant le courant.

On voit aussi que la tonne de chlorate de sodium devrait être produite avec 1 514 kA-h, ou une production de 0,66 gr : A-h.

La cuve devrait donc recevoir par tonne de chlorate de sodium

$$3\,500 \text{ kA-h} = 1\,514 \text{ kA-h} \times 2,3 \text{ v}$$

et reçoit en réalité, en général

$$6\,400 \text{ à } 7\,000 \text{ kw-h} = 2\,000 \text{ kA-h} \times 3,2 \text{ à } 3,5 \text{ v},$$

rapports : 76 et 66 à 72 pour 100.

B. — Au prix de 0,01 fr le kilowatt-heure, la dépense variera ainsi de 64 à 70 fr par tonne de chlorate de soude.

Le prix de vente étant aux environs de 800 fr la tonne, l'énergie électrique y entre ainsi pour 8 à 9 pour 100. Toute variation de 1 millime du prix du kw-h correspond ainsi à 0,8 à 0,9 pour 100 du prix de vente.

Chlorate de potassium. — Le chlorate de potassium est obtenu, soit par électrolyse directe du chlorure de potassium, soit par double décomposition du chlorate de sodium et du chlorure de potassium. On a intérêt à électrolyser le chlorure de sodium au lieu du chlorure de potassium, parce qu'on peut plus facilement se passer de platine et utiliser les anodes de graphite.

Théoriquement la consommation d'énergie devrait être moindre pour le chlorate de potassium que pour le chlorate de sodium, puisque 106 de chlorate de sodium équivalent à 122 de chlorate de potassium.

Mais, avec le premier procédé, le rendement de l'électrolyse est moindre dans le cas de la potasse, car on emploie généralement des anodes de platine et de fortes densités de courant afin d'économiser ce métal. Avec le deuxième procédé, il y a toujours quelques pertes de sels.

On peut donc admettre les mêmes chiffres que pour le sel de soude.

Comme, d'autre part, le prix du chlorate de potassium, avant la guerre, était le même que celui du chlorate de sodium, ou à peu près, toutes conclusions sont donc identiques pour les deux sels.

Perchlorate de sodium. — Obtenu par l'électrolyse du chlorate de sodium, exigeant une dépense supplémentaire (Flu) de 3 400 à 4 800 kw-h : t.

soit 1,8 à 2,5 t : kw-an,

chiffres voisins des résultats obtenus dans les différentes usines.

Remarquer toujours que le rendement est très affecté par l'intensité du courant et que, comme les électrolyseurs ont une anode de platine, on pousse quelquefois cette densité extrêmement.

Il n'y a pas de marché commercial des perchlorates et il est difficile de leur attribuer une valeur.

Cuivre (Raffinage). — Electrolyse aqueuse d'un sel de cuivre, dépôt de cuivre raffiné à la cathode, et dissolution égale d'une anode de cuivre à raffiner.

A. — *a*) (Jfe) de 84 à 89 kw-h : t, soit 99 à 104 t : kw-an.

Ces chiffres correspondent vraisemblablement aux meilleures installations et aux meilleures conditions.

b) (Ric) L'auteur indique 315 kw-h : t, soit 28 t : kw-an, chiffres susceptibles d'être améliorés.

Digitized by Google

c) Les chiffres de (Jfe) sont élevés. En effet, 1 A-h dépose 1,2 g de cuivre, soit 830 kA-h : t.

On aurait donc

$$84 \text{ à } 89 \text{ kw-h} = 830 \text{ kA-h} \times 0{,}101 \text{ à } 0{,}107 \text{ v},$$

tension qui ne peut être obtenue que dans des conditions tout à fait spéciales, et surtout de faibles densités de courant amenant à des dépenses d'installation considérables.

d) Il convient de se baser plutôt en bonne pratique industrielle sur un ordre de grandeur de 300 kw-h : t = 900 kA-h × 0,33 v, soit 29 t : kw-an et faire varier dans les deux sens selon les prix des installations et du courant.

B. — Le prix commercial du cuivre étant d'environ 1 700 fr la tonne, on voit que le prix du courant électrique pour raffinage est infime. Avec une installation hydraulique et du courant à 0,01 fr le kilowatt-heure, on arriverait à 3 fr par tonne comme ordre de grandeur, ou 0,17 pour 100 de la valeur du produit. Avec une installation à vapeur fonctionnant dans des conditions médiocres, livrant le kilowatt-heure à 0,10 fr, on ne dépenserait en courant que 1,7 pour 100 de la valeur du cuivre.

Cuivre (Electrolyse à froid). — L'extraction du cuivre a été tentée en partant de solutions obtenues par traitement chimique de divers minerais, soit avec anodes solubles soit avec anodes insolubles.

Dans le premier cas, on a une cause de consommation d'énergie électrique plus faible puisqu'on profite, comme dans le cas du raffinage, de l'énergie donnée par la dissolution des anodes. On a essayé des anodes solubles de fer, de sorte que le cuivre se dépose à la cathode et que la liqueur s'appauvrit graduellement en cuivre en s'enrichissant en fer d'une manière équivalente. D'après Richards, un tel procédé pourrait nécessiter 930 kw-h : t de cuivre, soit 9,4 t : kw-an.

Dans le second cas, on peut employer des électrodes de graphite.

Avec le chlorure cuivreux on obtient du chlorure cuivrique et du cuivre .

$$2\,CuCl = Cu + CuCl^2.$$

Le chlorure cuivrique est ensuite envoyé sur le minerai, transformé à nouveau en chlorure cuivreux, et ainsi de suite, etc.

On arriverait ainsi, naturellement avec des minerais appropriés, à des dépenses d'énergie faibles, de l'ordre quelquefois de celles nécessitées par le raffinage. En effet, théoriquement, on a

$$2\,CuCl,\ 70\,800 \text{ calories}$$
$$Cu\,Cl^2,\ 62\,500 \text{ calories}$$

donc, à fournir 8 300 calories = 151 kw-h : t sous la forme de 151 kw-h = 830 kA-h × 0,18 v au moins théoriquement.

Même avec un rendement médiocre, la dépense de courant pourra donc être faible.

Le prix de l'énergie n'est donc pas ce qui peut arrêter l'extraction du cuivre par l'électrolyse, car il ne peut dépasser, surtout avec des installations hydrauliques, quelques centièmes de la valeur du métal.

Cuivre (Electrolyse à chaud). — On a décrit des traitements électrolytiques de minerais de cuivre par électrolyse ignée de chlorures dissous dans le chlorure de sodium fondu. Il n'y a probablement pas d'applications importantes.

A. — (Ric, 5 700 kw-h : t, soit 1,5 t : kw-an.

B. — A raison de 0,01 fr le kilowatt-heure, le prix serait de 57 fr par tonne, qui, rapporté au prix de 1 700 fr, représente 3,4 pour 100.

Cuivre (Electrothermie). — Réduction de minerais plus ou moins complexes par chauffage au four électrique en présence de charbon.

A. — *a*) (Jfe). Le traitement au four électrique pour réduction de minerais à 25 pour 100 requiert 2 700 à 4 000 kw-h : t, soit 2,2 à 3,3 t : kw-an.

b) En général, les renseignements sont peu précis, ce qui n'a rien d'étonnant étant donnés la diversité des minerais et le peu d'applications déjà faites. On trouve, par exemple, dans le rapport de la Commission canadienne sur l'électrométallurgie en Europe, par Vattier, qu'on a dépensé, dans des essais faits à Livet, 500 kw-h par tonne de *charge* à 5 pour 100 de cuivre pour obtenir des mattes, et non du cuivre commercial. La publication du Department of Interior de Washington (1916) dit que ce traitement n'est pas employé aux Etats-Unis, pourtant un des grands producteurs de ce métal ; elle cite un chiffre obtenu en Norvège correspondant à environ 3 t de *minerai* par kilowatt-an.

B. — Le traitement électro-métallurgique des minerais de cuivre permet de passer à des mattes qu'on doit traiter ensuite à nouveau. La consommation d'énergie, estimée varier de 3 000 à 10 000 kw-h par tonne de cuivre, représenterait, à 0,01 fr le kilowatt-heure, 30 fr à 100 fr par tonne ou environ 1,7 à 6 pour 100 de la valeur finale du métal.

Il faut remarquer qu'on peut, de certains minerais complexes, préparer en même temps l'extraction d'autres métaux.

Zinc (Electrolyse). — A. — Le « Journal du Four électrique » (1er mars 1918) indique que l'électrolyse de la solution, en partant de minerai à 30 pour 100 de zinc et 15 pour 100 de plomb, requiert 4 000 kw-h : t, soit 2,2 t : kw-an.

Les données précises sur ces procédés manquent, et on semble en être encore à la période des tentatives.

B. — Le prix du zinc étant de 600 fr la tonne, une dépense de 40 fr, avec 0,01 fr le kilowatt-heure, représenterait 6,7 pour 100.

Zinc (Electrothermie). — Réduction par chauffage électrique de minerais plus ou moins complexes,

Digitized by Google

les difficultés provenant principalement de la condensation des vapeurs de zinc.

A. — *a*) (Jfe) indique que la réduction du minerai peut se faire avec : 6700 kw-h : t, soit 1,3 t : kw-an.

b) (Sta) donne un grand nombre de résultats d'essais faits sur divers minerais ; (Ric) publie aussi un certain nombre de chiffres.

La réduction électrothermique de zinc en est encore à la période des essais plutôt qu'à celle de la grande fabrication.

On donne des chiffres comme 4 800 kw-h : t de métal, en partant de minerai à 40-45 pour 100 grillé (Salgues) ; 2 600 kw-h : t de métal avec minerai à 38 pour 100 (Casaretti et Bertani) ; 1 530 kw-h : t de *minerai* à 50 pour 100 (Gin-Richards) ; 900 kw-h : t de *minerai* à 30 pour 100 et 1 550 kw : t de *minerai* à 70 pour 100 (Johnson), avec 80 pour 100 du métal recueilli, ce qui donnerait en le rapportant au métal (Johnson) : 2800 à 3800 hw-h : t.

Snyder indique : 1000 kw-h : t de *minerai* contenant du plomb et du zinc, la vapeur de zinc étant condensée en grande partie au contact de la charge.

B. — En admettant, comme approximation, 3 000 à 6 000 kw-h : t et 0,01 fr le kilowatt-heure, la dépense serait de 30 à 60 fr par tonne de zinc produit. La tonne de zinc coûtant 600 fr, le prix du courant se monterait ainsi à 5 ou 10 pour 100 de la valeur commerciale du métal.

Plomb (Electrothermie). — On peut extraire le plomb de minerais complexes, contenant en même temps du zinc, ou quelques autres métaux. On arrive à des consommations d'énergie très variables selon les cas (voir le paragraphe précédent relatif au zinc).

Plomb (Electrolyse). — A. — Divers procédés, pas très répandus, le plus employé étant probablement celui de Salom consistant à placer de la galène en en poudre sur une cathode de plomb dur, dans une solution d'acide sulfurique dilué, avec anode également de plomb dur. Le sulfure est réduit en plomb avec formation d'hydrogène sulfuré et d'hydrogène par décomposition parasite de l'eau sur la cathode et d'oxygène sur l'anode.

Par tonne de plomb produite, d'après :

$$PbS + H^2O = Pb + H^2S + O - 84\,400 \text{ calories}$$

et un dépôt de 0,00387 kg : A-h,
il faudrait : 474 kw-h = 258 kA-h × 1,84 v,
théoriquement, et, comme valeur pratique, on peut adopter (Ric)

$$813 \text{ kw-h} = 325 \text{ kA-h} \times 2{,}5 \text{ v},$$

chiffres variables comme toujours avec la densité de courant qui fait croître la tension avec elle, tandis que la production par kA-h reste à peu près constante, correspondant à un rendement en quantité d'environ 79 pour 100, le reste, ou 21 pour 100, étant pris principalement par la réaction secondaire de décomposition de l'eau.

B. — Si on admet 800 à 1 000 kw-h : t et 0,01 fr le kilowatt-heure, le courant interviendrait alors pour 8 à 10 fr par tonne de plomb, valant environ 550 fr, soit 1,5 à 2 pour 100.

Plomb (Raffinage). — Le procédé Betts traite une anode de plomb impur avec une solution d'hydrofluosilicate de plomb dans l'acide fluorhydrique étendu et cathodes de tôle d'acier.

Etant données la grandeur du poids atomique du plomb et la grande quantité déposée relativement par ampère-heure, le raffinage est très économique, en tant que consommation d'énergie électrique.

Richards indique environ 145 kw-h : t, soit 60 t : kw-an, c'est-à-dire un prix infime, même avec du courant assez cher.

Fonte (Réduction). — Réduction d'oxyde de fer par le charbon et chauffage électrique.

A. — *a*) (Flu) 2 400 kw-h : t, soit 3,65 t : kw-an.

b) (Jfe) 2 000 à 2 700 kw-h : t soit 3,3 à 4,4 t : kw-an, en partant de minerais à 50/60 pour 100.

c) (Sta) Résultats d'essais avec :

Four Héroult, 1 750 à 2 150 kw-h : t ;

Four Keller, 1 650 à 3 500 kw-h : t ;

Four Trôlhattan, 2 400 kw-h : t.

d) (Dius) On adopte comme base, aux États-Unis, des chiffres analogues à ceux des résultats de Trôlhattan, qui, pour minerais de 61 à 69 pour 100, amèneraient de 2 000 à 2 400 kw-h : t, soit 3,6 à 4,4 t : kw-an.

e) (Ric) En partant de magnétite, on arriverait à 2 700 kw-h : t, soit 3,3 t : kw-an.

f) Les réactions :

$Fe^2O^3 + 3C = 2Fe + 3CO$ — 108 100 calories ;

$Fe^3O^4 + 4C = 3Fe + 4CO$ — 154 200 calories

amènent de 1 065 à 1 125 kw-h : t comme consommation théorique.

Le rendement de l'opération pratique se tient ainsi aux environs de 50 pour 100, un peu plus de la moitié de la chaleur étant dissipée inutilement par les parois et le refroidissement des produits divers sortant du four ; une partie de cette dernière est récupérable.

B. — Tous les chiffres sont aussi concordants que le permettent les variations dans les minerais. On voit que le prix de l'énergie électrique intervient considérablement dans le prix de la fonte, et qu'on ne peut utiliser que des chutes avantageuses. Certaines fontes brutes arrivent à 100 fr par tonne et moins. A 0,01 fr le kilowatt-heure, l'énergie électrique représenterait alors un quart de la valeur du produit.

Chaque millime en sus ferait plus de 2 pour 100 de cette valeur.

Fonte synthétique. — Ce produit s'obtient en carburant au four électrique des déchets de fer ou aciers plus purs que la fonte.

D'après les diverses sources de renseignements, on arriverait à 800 à 1 000 kw-h : t, soit 8,8 à 11 t : kw-an.

Au prix de 0,01 fr le kw-h, cela fait 8 à 10 fr : t. Comme ce procédé permet de fabriquer des fontes rela-

Digitized by Google

tivement chères, le prix de l'énergie électrique intervient beaucoup moins que dans le cas des fontes de réduction. On ne peut évidemment arriver à des conclusions générales, le succès commercial de cette fabrication dépendant d'une quantité de circonstances.

Acier (Réduction). — A. — Stansfield signale des tentatives de fabrication de l'acier en partant de minerai, ce qui absorberait en moyenne 5 000 kw-h : t d'après des essais exécutés aux Etats-Unis. On serait arrivé à des chiffres variant de 2 600 kw-h à 3 400 kw-h dans des essais faits en France.

On peut se proposer de faire l'opération en deux fois : avoir de la fonte bien convenable à la production d'acier qu'on affine ensuite. Ainsi la publication américaine du Department of Interior donne pour une usine type livrant 50 000 t par an, 18 000 ch pour la réduction et 3 000 pour l'affinage, soit 2 750 kw-h : t.

Il n'y a pas de raison théorique qui amène une consommation d'énergie supérieure pour faire de l'acier au lieu de fonte. Certaines raisons pratiques, surtout si on affine à part, forcent cependant à consommer un peu plus.

B. — En admettant 2 500 à 5 000 kw-h par tonne d'acier produit depuis le minerai et 0,01 fr le kilowatt-heure, on aurait 25 à 50 fr de courant. Le prix de l'acier est tellement variable selon les qualités que le succès commercial d'une telle opération dépend presque uniquement de ces qualités.

Acier (Affinage). — L'acier d'affinage s'obtient en chargeant les fours avec du fer ou de l'acier, en lingots, ou déchets, soit mis directement dans le four, soit fondus au préalable, ou encore avec de l'acier partiellement affiné dans un convertisseur Bessemer.

A. — *a*) (Flu) Charge solide, 1 100 kw-h : t, soit 8 t : kw-an.

Charge liquide : 200 kw-h : t, soit 44 t : kw-an.

b) (Jfe) Acier à outils, 700 à 800 kw-h : t ;

Acier affiné, 200 à 250 kw-h : t d'acier basique coulé directement du Bessemer, 100 kw-h : t d'acier acide coulé directement du Bessemer.

Acier ordinaire pour moulages, 550 à 650 kw-h : t.

c) (Sta) donne une série de chiffres analogues à ceux de (Flu) ci-dessus, quelquefois un peu plus bas comme consommation d'énergie.

d) (Dius) Charge solide, 460 à 1 200 kw-h : t, soit 7 à 19 t : kw-an.

Charge liquide, 100 à 300 kw-h : t, soit 29 à 88 t : kw-an.

B. — Ces chiffres, assez concordants, donneraient avec de l'énergie à 0,01 fr le kilowatt-heure, les valeurs suivantes :

Charge solide, en moyenne 10 fr par tonne ;

Charge liquide, en moyenne 2 fr par tonne.

Ces dépenses sont assez faibles devant la valeur du produit, l'acier obtenu au four électrique étant souvent de qualités chères ; elles ne dépassent pas quelques centièmes.

Fer (Raffinage). — Electrolyse aqueuse d'un sel de fer, dépôt de fer raffiné à la cathode et dissolution égale d'une anode de fer, fonte, ou acier à raffiner.

A. — *a*) (Flu) Cathode en rotation, 5 000 kw-h : t, soit 2,2 t : kw-an.

Cathode fixe, 1 000 kw-h : t, soit 8,8 t : kw-an.

b) (Jfe) indique 4 000 kw-h : t sans spécifier aucun procédé.

c) Coutagne donne pour le procédé Burgess, avec cathode fixe, 8 t : kw-an, et Guillet pour le procédé Boucher 2 t : kw-an. Ce dernier est le procédé employé par la Société Bouchayer et Viallet qui confirme le chiffre d'un peu plus de 2 t : kw-an.

d) (Ric) estime que, par le procédé Burgess, on pourrait arriver à 800 kw-h : t, soit 11 t : kw-an.

e) L'opération de raffinage du fer consistant en un simple déplacement de ce métal ne change pas l'énergie potentielle des corps en présence et peut prendre aussi peu d'énergie que les questions de résistance et d'économie d'installation le permettent. Les deux procédés types, à cathodes en rotation et à cathodes fixes, se distinguent à ce sujet par une tension très différente, parce que le premier système marche avec fortes densités de courant et des distances d'électrodes assez grandes à cause du mouvement à produire, tandis que le second marche généralement à plus faible densité, ce qui est logique à cause du prix plus réduit de l'appareillage et avec distances d'électrodes que l'on peut réduire davantage à cause de leur fixité même.

1 A-h déposant 1,04 gr de fer, la tonne est déposée par 960 kA-h avec une solution de sels ferreux, tandis qu'avec une solution de sels ferriques on aurait 0,0696 gr et 1 430 kA-h.

L'électrolyse étant plutôt faite avec solutions ferreuses et le rendement en quantité étant bon, car on a peu de réactions secondaires et de dérivations inutiles, on a pratiquement :

Procédé à cathodes rotatives par tonne : 3 500 à 4 000 kw-h = 1 000 kA-h × 3,5 à 4 v.

Procédé à cathodes fixes par tonne : 800 à 1 000 kw-h = 1 000 kA-h × 0,8 à 1 v.

B. — Contrairement à ce qui se passe pour le cuivre et le plomb, le coût de raffinage du fer est relativement élevé. Avec du courant bon marché, à 0,01 fr le kw-h, la tonne de fer est chargée de 10 fr ou 40 fr, ce qui est beaucoup pour du fer brut, mais cependant peut être assez bas pour certaines formes de ce métal.

De plus on voit que les procédés d'électrolyse du fer emploient une tension relativement élevée ; on pourra peut-être la réduire avec des perfectionnements, comme cela a eu lieu du reste pour le raffinage du cuivre, industrie beaucoup plus ancienne que celle du fer qui en est encore à ses débuts.

Corindon ou alundum. — Alumine impure obtenue en chauffant la bauxite ou autres minerais alumineux, avec du charbon, en éliminant un alliage de fer, silicium, titane, aluminium.

Digitized by Google

A. — *a*) (Flu) 2 200 à 2 600 kw-h : t, soit 3,4 à 4 tonnes par kw-an.

b) Werlein a indiqué avoir obtenu : 1 800 kw-h par tonne, soit 4,9 t : kw-an.

B. — En admettant 2 000 kw-h : t et 0,01 fr le kw-h, la dépense d'énergie serait de 20 fr : t. La valeur du produit brut étant de 250 fr : t, l'énergie représenterait 8 pour 100.

Carborundum. — Siliciure de carbone obtenu par chauffage au four électrique de sable siliceux et de coke avec addition de quelques autres produits, comme sciure de bois et sel marin.

A. — *a*) (Flu) 8 600 kw-h : t, soit 1 t : kw-an.

b) (Jfe) donne des chiffres de consommation d'énergie qui paraissent beaucoup trop élevés : 27 000 kw-h : t, soit 0,33 t par kw-an pour le produit cristallisé et 13 000 à 16 000 kw-h : t, soit 0,55 à 0,66 t par kw-an pour le produit amorphe.

c) Richards donne le chiffre de 8 400 kw-h : t soit 1,05 t par kw-an.

B. — En admettant 8 500 kw-h : t et 0,01 fr : kw-h, l'énergie coûtera 85 fr par tonne. Le prix de vente étant de 500 fr environ, cela représente 17 pour 100.

Carbure de calcium. — Obtenu par chauffage au four électrique d'un mélange de chaux et de charbon.

A. — *a*) (Flu) 4 000 à 4 400 kw-h : t, soit 2 à 2,2 t : kw-an.

b) (Jfe) 4 400 à 5 000 kw-h : t et moins dans les grands fours, soit 1,75 à 2 t : kw-an, et plus dans les grands fours.

c) Les renseignements obtenus dans diverses usines concordent bien, et on peut admettre pour les fours de plus de 1 000 kw, une consommation normale de 4 000 kw-h : t soit 2,2 t : kw-an.

d) La réaction de formation du carbure étant bien nette, cette fabrication étant bien au point, le four à carbure est donc particulièrement indiqué pour les considérations sur le rendement de ce genre d'appareils, très analogues pour les fabrications de fontes et aciers, ferro-alliages divers et corps de même espèce.

La réaction :

$CaO + 3C = CaC^2 + CO - 108\,590$ calories se scinde en :

Décomposition de CaO, 131 500 calories à fournir.

Formation du CaC^2, 6250 calories à fournir.

Formation de CO, 29 160 calories récupérées.

1 t est donc produite théoriquement par 1 973 kw-h soit 4,44 t : kw-an et le rendement des bons fours atteint 50 pour 100.

Pour un four de construction courante, on peut estimer que les pertes d'énergie se représentent ainsi :

Echauffement de la chaux chargée froide à 3 000°	33 600 calories.
Echauffement du charbon chargé froid à 3 000°	43 200
	76 800 calories.
Déduction pour oxyde de carbone sortant à 1 000°	7 000 calories.
Déduction pour carbure de calcium sortant à 2 100°	19 200

Donc perte de chaleur pour échauffement des matières premières et refroidissement des produits sortant du four, calories : 50 600 ; et au lieu de 108 590 calories, il faut 159 190, ce qui ferait déjà : 2 892 kw-h : t, soit 3,03 t : kw-an.

Pour 1 000 kw de puissance fournie au four, on perdra d'après l'expérience courante :

Electrode supérieure : portion de RI^2 moyen dissipée à l'extérieur	30 kw.
Electrode supérieure : perte par conductibilité thermique	44
Electrode supérieure : contacts électriques	16
Soit pour électrode supérieure, au total	90 kw
Surface latérale et fond, convexion et radiation	110
Partie supérieure id.	90
Conducteurs électriques RI^2 depuis le transformateur	20
Au total	310 kw.

Restent donc des 1 000 kw

$$1\,000 - 310 = 690 \text{ kw}$$

et le rendement final est :

$$0{,}69 \times \frac{108\,590}{159\,190} = 0{,}47,$$

chiffre qui représente bien ce qu'on obtient couramment.

Si au lieu de charger les matières froides, on arrivait pratiquement à les charger à 1 300°, ce qui supposerait une utilisation de 50 pour 100 de la chaleur de combustion de l'oxyde de carbone produit par le four, on gagnerait 620 kw-h : t de carbure, conduisant ainsi à 3 400 kw-h : t, soit 2,6 t : kw-an.

Le rendement global atteindrait ainsi 58 pour 100, et par quelques autres perfectionnements on pourrait espérer dépasser 60 pour 100.

Comme il y a beaucoup de pertes inévitables, on voit qu'on serait vite arrivé dans cette voie à la limite des économies d'énergie possibles.

B. — Le carbure étant supposé se vendre 200 fr la tonne, si le kilowatt-heure est compté 0,01 fr, l'énergie électrique intervient ainsi pour 40 fr, soit 20 pour 100.

Chaque millime de variation du prix du kilowatt-heure affecte le prix de vente de 2 pour 100 environ.

Cyanamide. — A. — La calcium-cyanamide est obtenue en fixant de l'azote sur le carbure de calcium. Le chauffage préalable est généralement fait électriquement ; la réaction se continue ensuite d'elle-même.

La consommation d'énergie supplémentaire est de 530 kw-h : t (Flu).

Le poids de cyanamide obtenue étant environ 1,2 fois

Digitized by Google

le poids du carbure traité, on peut admettre par tonne de cyanamide, en partant de la chaux, du charbon et de l'azote : 3 850 kw-h : t, soit 2,3 t : kw-an.

B — A 0,01 fr le kilowatt-heure, la dépense d'énergie serait de 38, 50 fr.

La cyanamide contenant 18 à 20 pour 100 d'azote qui est vendu 1,50 fr le kilogramme, la tonne de cyanamide vaut ainsi 270 à 300 fr, et la dépense de courant s'estime à 13-14 pour 100.

Chaque millime de variation du prix du kilowatt-heure affecte le prix de vente de la cyanamide de 1,3 à 1,4 pour 100.

Acide nitrique. — Oxydation de l'azote de l'air par l'arc électrique, fournissant du protoxyde d'azote qui est ensuite oxydé et hydraté; l'acide est souvent fixé par de la chaux, le corps commercial obtenu étant le nitrate de chaux.

A. — *a*) (Flu) de 16 000 à 18 500 kw-h : t d'acide, soit 0,475 à 0,55 t : kw-an.

b) (Sta) de 14 500 à 17 500 kw-h : t d'acide, soit 0,5 à 0,6 t : kw-an.

c) Toutes les publications sur les divers procédés donnent des chiffres de cet ordre; on peut donc admettre, quelle que soit la forme d'arc employée, une valeur moyenne de 17 500 kw-h : t, soit 0,5 t : kw-an.

d) La réaction $Az + O = AzO$ — 22 000 calories, indique que, théoriquement, il faudrait 405 kw-h : t, soit 21, 5 t par kw-an, le rendement est donc de 2,3 pour 100.

Il serait encore plus petit, si on considérait : $Az + O^2 = AzO^2$ — 8 000 calories puisqu'il n'atteindrait pas 1 pour 100 et si on considérait AzO^3H formé aux dépens d'azote, d'oxygène et d'eau, on obtiendrait un rendement négatif, ce corps se formant avec dégagement de chaleur.

Si d'un autre côté, on calcule la quantité de chaleur nécessaire pour porter à une température de l'ordre de 3 000° les gaz qui réagissent, on trouve seulement quelques centièmes à peine de l'énergie électrique dépensée en pratique.

Le rendement est très faible à cause de la nécessité d'introduire dans l'appareil une quantité considérable d'air qui ne réagit pas et ne sert qu'à refroidir brusquement la petite portion ayant réagi en empêchant ainsi ladite réaction de s'effectuer en sens inverse.

Quoi qu'il en soit, une fabrication avec rendement aussi faible que ce qu'il est actuellement constitue une opération peu recommandable et un gaspillage presque coupable d'énergie. A cause même de ce faible rendement, l'opération est peu rémunératrice.

B. — Avec 17 500 kw-h : t d'acide et un prix de 0,01 fr le kw-h, la dépense serait de 175 fr.

Sous forme d'acide commercial, on peut admettre un prix de l'ordre de 400 fr la tonne, soit 44 pour 100 pour le courant électrique.

Sous forme d'engrais, comme le nitrate de chaux, l'unité d'azote valant 1,50 fr et l'acide nitrique contenant 22 pour 100 d'azote, le prix commercial tombe à 320 fr, où le courant entrerait pour 53 pour 100.

On voit donc qu'à seulement 0,02 fr le kw-h rendu aux bornes du four, le courant vaudrait plus que le produit final. Comme les opérations de fabrication sont loin d'être gratuites et que le coût d'installation est assez grand, on voit que cette industrie ne peut donner de résultats que lorsque l'énergie électrique a une valeur extrêmement basse.

Si on considérait la vente de l'acide pur et concentré, on trouverait évidemment que l'opération est plus rémunératrice, mais le marché de ce produit est trop limité pour permettre la création d'une industrie importante.

Ferro-silicium. — Obtenu en chauffant au four électrique de la silice, du charbon et des débris de fer, ou encore de l'oxyde de fer.

A.—*a*)	Pour 100 de Si.	Kilowatts-heure par tonne.	Tonnes par kw-an.	d'après
	10 à 12	2 600	3,4	(Flu)
	25 à 30	4 100	2,1	Id.
	25 à 30	3 500 à 4 000	2,2 à 2,5	(Dius)
	45 à 50	8 000	1,1	(Flu)
	50	7 300 à 8 000	1,1 à 1,2	(Jfe)
	50	6 800 à 8 000	1,1 à 1,3	(Dius)
	70 à 80	17 000	0,52	(Flu)
	75	13 300 à 16 000	0,55 à 0,66	(Jfe)
	90	20 000 à 22 800	0,39 à 0,44	Id.
	90 à 95	24 000	0,37	(Flu)

Ces valeurs sont assez concordantes. Elles se rapportent toutes — quoique seul le (Dius) le spécifie — à du ferro-silicium obtenu au moyen de tournures ou débris de fer.

b) On fait quelquefois du ferro-silicium en partant d'oxyde de fer et de silice. La consommation d'énergie est naturellement plus considérable

(Dius) donne le renseignement suivant :

Pour 100 de Si	28
Kilowatt-heure par tonne	5 930
Tonne par kilowatt-an	1,5

tandis que Louis (la fabrication du ferro-silicium au four électrique 1910) indique :

Pour 100 de Si.	Kilowatts-heure par tonne.	Tonnes par kilowatt-an.	partant de :
25	4 000	2,2	tournure de fer
25	4 800	1,8	minerai de fer
50	8 000	1,1	tournure de fer
50	9 600	0,9	minerai de fer

c) Au point de vue du rendement, les fours étant analogues à ceux qui produisent le fer ou le carbure, on a en pratique à peu près la même valeur, soit 50 pour 100 ou un peu moins.

B. — Le prix du ferro-silicium est assez variable. Avant la guerre on trouvait environ :

Pour 100 de Si	Francs par tonne.	Kilowatts-heure par tonne.	Prix en francs.	Pour 100.
10	150	3 000	30	20
45-50	300	8 000	80	27
75	550	15 000	150	27

Digitized by Google

Les dernières colonnes donnent le prix et la proportion dans la valeur du produit de l'énergie électrique comptée à 0,01 fr le kw-h.

Ferro-manganèse. — Obtenu en chauffant au four électrique du fer, du charbon et des minerais de manganèse.

Pour 100 de Mn.	Kilowatts-heure par tonne.	Tonnes par kw-an.	d'après :
18 à 20	1 600	5,5	(Flu)
70 à 75	4 000	2,2	(Flu)]
62	7 500	1,15	Stassano (1908)

B. — Le prix commercial était très variable. Aux États-Unis on a indiqué avant la guerre 350 fr la tonne contenant 80 pour 100 de manganèse, avec correction de ± 2,80 fr par unité, soit environ 335 fr pour le produit à 75 pour 100. En France on a coté des prix plus hauts, environ 500 fr pour produits entre 50 et 75 pour 100.

Ave 4 000 kw-h à 0,01 fr chacun, ou 40 fr au total, l'énergie électrique représenterait ainsi 8 à 12 pour 100 environ.

Ferro-chrome. — Obtenu en chauffant au four électriqne du charbon et des minerais de chrome, avec du fer ou de l'oxyde de fer, ou en partant de corps intermédiaires; le produit recherché doit contenir le moins possible de carbone.

Pour 100 de carbone.	Kw-h par tonne.	Tonnes par kw-an.	d'après
10	6800	1,3	(Flu)
8	8900 à 10000	0,88 à 0,98	(Jfe)
5 (Cr 65/70)	6600	1,35	essais à Kopperaaen)
5,21 (Cr 71) (Fe 23)	8000	1,1	(essais à Kanawha U.S.A)
1	13300	0,66	(Flu)

Les chiffres sans indication de proportion de chrome se rapportent vraisemblablement à 60 — 70 pour 100.

B. — Le prix commercial étant très variable, sur la base de 60 pour 100 de chrome, on cotait environ :

Sans carbone.....	2 500 fr	la tonne
1 à 2 pour 100	1 400	id.
4 à 6 pour 100	500	id.

prix dans lesquels l'énergie électrique, à 0,01 fr le kilowatt-heure, entre environ pour un peu plus de 10 pour 100.

Ferro-tungstène. — Obtenu en chauffant au four électrique du charbon, des minerais de tungstène et du fer, ou de l'oxyde fer.

A. — *a*) (Flu) 6 800 à 9600 kw-h : t, soit 0,9 à 1,3 t : kw-an, sans spécification de composition;

b) Stassano donne les résultats suivants :

Tungstène pour 100.	Kilowatts-heure par tonne.	Tonnes par kw-an.
58	6 000	1 450
66	6 500	1 350
70	8 600	1 000

c) (Dius) donne les chiffres suivants obtenus en partant de Ferbérite du Colorado :

37-38	10 500 à 11 000	0,76 à 0,83
41-43	4 100 à 12 700	0,70 à 2,1
50	5 800	1,5
59	4 300	2,0

et la marche moyenne correspond à 7 600 kw-h : t.

B. — Le prix du kilogramme de tungstène renfermé dans le produit était de 4 à 6 fr, soit pour le produit à 60 pour 100, 2 400 à 3 600 fr la tonne. S'il faut 7 000 kw-h à 0,01 fr ou 70 fr, cela représente 3 à 5 pour 100.

Autres ferros. — Il existe toute une série de ferros plus ou moins complexes, tels que le ferro-aluminium dont il a été parlé plus haut, le ferro-molybdène, le ferro-phosphore, et beaucoup d'autres.

La préparation et les résultats obtenus sont toujours à peu près de même ordre.

Produits silico-métalliques. — Corps plus nombreux et plus ou moins compliqués pour lesquels il n'est pas possible de formuler des résultats définitifs, à cause de leur complexité et diversité, ainsi que du nombre de minerais traités et du manque de constance des produits obtenus.

Flusin donne les chiffres suivants :

Silico-manganèse	10 Si	20 Mn	3 200 kw-h	par tonne.
	10 Si	70 Mn	5 200	id.
	25 Si	50 Mn	8 000	id.
Silico-calcium.....			16 000	id.
Silico-aluminium.....			24 000	id.

Phosphore. — Réduction d'acide phosphorique ou plutôt de phosphates par le charbon en présence de silice.

A. — *a*) (Flu) 21 800 kw-h: t, soit 0,4 t:kw-an.

b) (Sta) donne, d'après les résultats du procédé Landis employé depuis longtemps aux Etats-Unis, une consommation de seulement: 12 000 kw-h: t, soit 0,73 t:kw-an.

c) Le minéral employé doit intervenir considérablement. Il est à remarquer que la préparation du phosphore se fait soit entièrement au four électrique, soit en deux étapes; la première consistant en un traitement préalable à l'acide sulfurique. Cependant le procédé Landis semble bien traiter directement dans le four électrique le mélange de phosphate, de charbon et de silice.

B. — Le prix du phosphore est assez peu défini. Il peut être estimé de l'ordre de 1 000 fr la tonne. A 0,01 fr le kilowatt-heure et prenant le chiffre de Stansfield, cela ferait, 12 pour 100. Le chiffre de Flusin conduirait à 22 pour 100.

Sulfure de carbone. — Chauffage au four électrique, à température modérée, de soufre et de charbon de bois.

Cette fabrication se fait sur une grande échelle aux

Digitized by Google

Etats-Unis notamment, avec le four Taylor principalement.

Il faudrait environ : 850 kw-h : t ou 10 t : kw-an.

Le sulfure de carbone, à l'état gazeux, se forme avec absorption de 25 400 calories, ou 390 kw-h : t amenant ainsi à un rendement de 46 pour 100,

Le sulfure de carbone coûtant environ 500 fr la tonne, la dépense de l'énergie électrique à 0,01 fr le kilowatt-heure, ou 8,50 fr par tonne, ne serait ainsi que 1,7 pour 100.

Graphite. — Obtenu en transformant divers autres carbones par chauffage au four électrique.

A. — *a*) Il résulte de l'ouvrage de Stansfield que l'usine Acheson de Niagara emploie : 7 800 kw : t, soit 1,15 t : kw-an.

b) Certains chiffres européens indiqueraient une dépense d'énergie beaucoup plus grande, ce qui n'a rien d'étonnant étant donnée la différence de taille entre les installations Acheson et celles d'Europe.

B. — Le prix du charbon Acheson étant d'environ 750 fr la tonne, à 0,01 fr le kilowatt-heure, le courant intervient dans ce prix pour un peu plus de 10 pour 100.

P. Bunet.

Revues, analyses et informations

Revue critique de la bibliographie relative à l'attraction magnétique déséquilibrée dans les machines dynamo-électriques (1).

Toutes les formules sont basées sur l'équation de Maxwell :

$$\text{Effort en dynes} = \frac{\mathcal{B}^2 S}{8\pi},$$

où $\mathcal{B}$, est l'induction en gauss (ou en lignes de force par cm²), et S, la section en cm² du passage du flux dans l'entrefer qui sépare les deux surfaces subissant l'effort.

Cette formule peut s'établir d'une manière simple pour le cas d'un circuit magnétique saturé, de la manière suivante :

Le circuit magnétique que représente la figure 1 est symétrique par rapport à l'axe OO' et, par suite, on peut considérer séparément l'action de chaque pôle. Avec n spires par

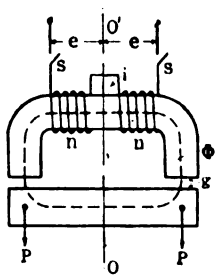


Fig. 1.

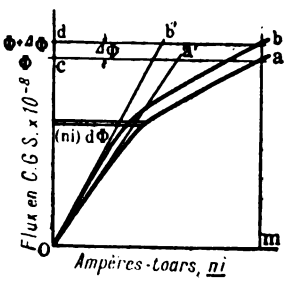


Fig. 2.

pôle et e volts entre les extrémités de chaque bobine, l'excitation $n\,i$ produit un flux magnétique de Φ lignes.

Dans la figure 2, on représente la courbe de magnétisme pour chaque moitié du circuit magnétique entier de la figure 1 quand l'entrefer entre l'armature et chaque face polaire est égal à g cm. Si maintenant on laisse l'armature prendre un déplacement virtuel Δg sous l'action de l'attraction magnétique P, de façon à diminuer l'entrefer, la courbe relative au nouveau circuit magnétique devient Ob (fig. 2).

(1) Alexandre Gray et J.-G. Pertsch. *Proceedings of the American Institute of Electrical Engineers*, t. xxxvii, p. 1 061-1 068, septembre 1918.

Pour établir le flux initial Φ sous l'excitation $n\,i$, l'énergie totale fournie à la bobine après la fermeture de l'interrupteur ss, est :

$$\int_0^t e\,i\,dt = \int_0^t \left(n\frac{d\Phi}{dt}.10^{-8}\right) i\,dt + \int_0^t i^2 r\,dt.$$

Dans cette expression, l'énergie emmaganisée

$$\int_0^{\Phi} n\,i\,d\Phi.10^{-8} = \text{aire Oac (fig. 2), en watts.}$$

Si maintenant on laisse l'armature se déplacer sous l'action de l'effort P, de façon à réduire l'entrefer d'une quantité Δg, l'excitation ni étant maintenue constante, le flux passe de la valeur Φ à la valeur Φ + ΔΦ et la variation de l'énergie emmagasinée est Φ + Δ Φ

$$\int_{\Phi}\left(n\frac{d\Phi}{dt}.10^{-8}\right) i\,dt = ni \times \Delta\Phi.10^{-8} = \text{aire cabd.}$$

De même, l'énergie accumulée dans le circuit dans les nouvelles conditions, avec le flux Φ+ΔΦ est égale à l'aire Obd.

Le travail mécanique, $P\Delta g$, se fait aux dépens de l'énergie magnétique accumulée, qui est égale à

$$\begin{aligned}\text{Aire Oac} + \text{aire cabd} - \text{aire Obd},\\ = \text{aire Oab},\\ = \text{aire Oa'b'}.\end{aligned}$$

Oa' et Ob' (fig. 2) représentant les courbes de magnétisme pour les entrefers g et $g - \Delta g$ respectivement.

Mais, pour de très faibles valeurs de ΔΦ,

Aire Oa' b' $= \frac{1}{2} \times$ ampères-tours pour l'entrefer $\Delta g \times \Phi$, 10^{-8} watts-sec ;

$$\begin{aligned}\text{Aire O'ab'} &= \frac{1}{2}\left(\frac{10}{4\pi}.\frac{\Phi}{S}.\Delta g\right) \times \Phi.10^{-8},\\ &= \frac{\Phi^2}{8\pi S} \times \Delta g \times 10^{-7} \text{ watts-sec.}\\ &= \frac{\Phi^2}{8\pi S} \times \Delta g \text{ ergs} = F \times \Delta g,\end{aligned}$$

Digitized by Google

ou :

$$\text{Attraction en dynes, } P = \frac{\Phi^2}{8\pi S} = \frac{\mathcal{B}^2 S}{8\pi}.$$

Cette formule est donc vraie que le circuit magnétique soit saturé ou non. On voit aussi par ce qui précède la signification du symbole S de la formule et comment on doit résoudre les problèmes concernant les induits dentés.

Le sujet de l'attraction magnétique dans les machines électriques n'a pas reçu grande attention dans ces dernières années; on ne paraît pas s'en être occupé depuis 1911.

Fischer-Hinnen, dans son ouvrage « Dynamo Design », établit la formule suivante :

$$\text{Attraction en dynes} = \left(\frac{\mathcal{B}^2 S}{25 \times 10^6} \times \frac{x}{\alpha g}\right) C,$$

où $\mathcal{B}$ est l'induction dans l'entrefer, en lignes de force par cm²;

S, la section de la face polaire en cm² ;

x, le décentrage du rotor ;

g, l'entrefer ;

α, le rapport de la reluctance du circuit magnétique total à celle de l'entrefer normal seul ;

C est un coefficient calculé, que donne la table suivante :

Tableau I.

VALEURS DE C	NOMBRE DE PÔLES	OBSERVATIONS
2	4	Décentrage suivant l'axe des pôles.
2,8	4	Id. la ligne neutre.
6	6	Id. l'axe d'un pôle.
9	8	Id. une ligne neutre.
15	12	Id. Id.
20	16	Id. Id.

B. - A. Behrend (2) a donné une discussion mathématique du cas d'une machine ayant un très grand nombre de pôles et a établi la formule :

$$\text{Attraction} = \frac{\mathcal{B}^2 S_1}{8\pi} \cdot \frac{2x}{g},$$

où $S_1 = \pi R l = \frac{1}{2}$ + aire totale de l'entrefer. Il a montré que ceci est exactement la valeur qu'on obtient en admettant que l'entrefer est $g - x$ pour une moitié des pôles, $g + x$ pour l'autre moitié (Rosenberg, dans le Mémoire analysé plus loin, fait la même remarque). Si l'on remplace S_1 par $\frac{1}{2} \times S \times$ nombre de pôles, la formule de Behrend devient

$$\text{Attraction} = \frac{\mathcal{B}^2 S}{8\pi} \times \frac{x}{g} \times \text{nombre de pôles.}$$

Edgar Knowlton (3) établit une expression de la même forme exactement que celle de Fisher-Hinnen, mais les constantes données par les deux auteurs sont très différentes. Pour un nombre de pôles supérieur à 10, cette formule s'accorde avec celle de Behrend.

Hans Linsenmann (4), en 1902, emploie directement la courbe de magnétisme (comme le fait Rosenberg dans l'article suivant, figure 2) pour déterminer, à une excitation donnée et avec une distribution sinusoïdale du flux sous le pôle, la variation de l'attraction magnétique moyenne par pôle avec la longueur de l'entrefer. Il exprime cette variation par une équation approchée.

J. Rey (5), en 1904, établit une formule nouvelle particulièrement applicable aux moteurs asynchrones à rotor décentré. Cette formule est

$$\text{Attraction en dynes} = \frac{1}{8\pi^2} (\mathcal{B}^2_{\text{eff}})\ S \times C,$$

où $\mathcal{B}_{\text{eff}} = \mathcal{B}_{\text{moy}} \times 1{,}1$ pour une répartition sinusoïdale du flux.

S est la surface du rotor $= 2\pi Rl$.

$C = f(\varepsilon)$.

ε est le décentrage exprimé en fraction de l'entrefer simple, $= \frac{x}{g}$ et pour

$$\varepsilon = \frac{x}{g} = 0{,}05 \quad 0{,}1 \quad 0{,}15 \quad 0{,}2 \quad 0{,}25 \quad 0{,}3 \quad 0{,}4 \quad 0{,}5,$$

$$C = 0{,}157 \quad 0{,}319 \quad 0{,}488 \quad 0{,}688 \quad 0{,}866 \quad 1{,}084 \quad 1{,}63 \quad 2{,}415.$$

On peut montrer que, pour un décentrage inférieur à 20 pour 100, cette formule se réduit pratiquement à celle de Behrend.

J.-K. Sumec (6) établit une formule analogue à celles de Behrend et de Rey, mais par certaines transformations la réduit à la forme

$$\text{Attraction en dynes} = \frac{\mathcal{B}^2}{8\pi} \cdot S \cdot \frac{x}{g} \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{x}{g}\right)^2\right]^{3,2}}.$$

C'est la même formule que celle de Behrend, sauf pour le dernier terme qui, pour un décentrage de 25 pour 100, n'atteint que 1,1, soit une différence de 10 pour 100 seulement, tandis que pour les décentrages de moins de 10 pour 100, le terme correctif ne diffère de l'unité que de 1 pour 100 environ. Cette formule donne les mêmes valeurs que celle établie par Rey.

Il est à noter que, dans la plupart des formules établies mathématiquement, on néglige l'effet de la réluctance du fer du circuit magnétique; l'hypothèse faite, que l'induction varie inversement à la longueur d'entrefer, n'est donc vraie que dans les machines non saturées.

En 1905, B. Soschinski (7) rend compte de certains essais effectués pour vérifier les formules de Rey et de Sumec. On obtient des résultats bien d'accord avec le calcul pour des entrefers étroits et une faible saturation du fer, en mesurant l'aire et l'induction au sommet des dents, mais si l'on augmente l'induction, les valeurs calculées (en négligeant la réluctance du fer) sont plus élevées que les valeurs d'expérience. Avec des entrefers plus larges, au contraire, les valeurs d'expérience sont toujours plus élevées (jusqu'à 100 pour 100). On explique ce dernier résultat par le fait qu'à mesure que l'induit se déplace d'un côté, les lignes de force se concentrent aux extrémités des dents du côté de l'entrefer réduit et se dispersent, au contraire, du côté de l'entrefer agrandi.

Digitized by Google

Dans la même année (1905), Niethammer (8), par une transformation de l'expression de Sumec, obtient la formule suivante qui permet de tenir compte de la réluctance du trajet dans le fer en déterminant la valeur de l'induction d'après la courbe de magnétisme, comme le fait Rosenberg. Il regarde cette expression comme donnant les résultats les plus sûrs.

$$\text{Attraction résultante en kgs} = \frac{1}{2}\left[\left(\frac{\mathcal{B}_{max}}{5\,000}\right)^2 - \left(\frac{\mathcal{B}_{min}}{5\,000}\right)^2\right] pS,$$

où p est le nombre de paires de pôles;

S, la section effective moyenne d'entrefer par pôle en centimètre carré.

En 1907, Picou (9) établit une expression de l'attraction magnétique et donne une modification de la formule due à Sumec pour l'attraction déséquilibrée.

C.-R. Moore (10) (1911) donne une méthode graphique pour l'étude de l'attraction déséquilibrée.

Miles Walker (11), dans son ouvrage sur « Specification and Design of Dynamo-Electric Machinery » (1915) traite également la question.

R.-E. Hellmund (12), Miles Walker (11) et d'autres ont fait ressortir l'effet des enroulements série et parallèle sur l'attraction déséquilibrée et ont aussi étudié la manière dont cette attraction, dans le moteur asynchrone, peut être réduite à un minimum, en formant l'enroulement du stator de deux circuits en parallèle bobinés sur des moitiés opposées de la carcasse, ce qui rend impossible une grande inégalité entre les flux parcourant ces deux moitiés.

Bibliographie. — 1. J. Fisher-Hinnen. *Dynamo-Design*, p. 260-265, 1899.

2. B.-A. Behrend; On the mechanical forces in dynamos caused by magnetic attraction. *Transactions A. I. E. E.*, nov. 1900, t. XVII, p. 617-626.

3. Edgar Knowlton; Magnetic attraction in dynamos due to armature and field being non-concentric. *Electrical World*, juin 1901, t. XXXVII, p. 969-970.

4. H. Linsenmann; Résistance mécanique des grands alternateurs. *E. T. Z.*, janvier 1902, t. XL, p. 81-84 et fév. 1902, p. 103-107.

5. J. Rey; Attraction magnétique due au décentrage du rotor dans les motors d'induction. *L'Eclairage Electrique*, février 1904, t. XXXVIII, p. 281-285; novembre 1904, t. XXXXI, p. 257-260.

6. J.-K. Sumec; Détermination de l'attraction magnétique du rotor causée par le décentrage. *Zeitschrift für Elektrotechnik*, déc. 1904, t. XXII, p. 727-728.

7. B. Soschinski; Attraction due au décentrage du rotor. *Zeitschrift f. Elektrotechnik*, mars 1905, p. 153.

8. F. Niethammer; Attraction magnétique latérale dans les dynamos et les moteurs. *Zeitschrift für Elekrotechnik*, juillet 1905, t. XXIII, p. 421-422; *L'Eclairage Electrique*, juillet 1905, t. XLIV, p. 154-155.

9. R.-V. Picou; La loi de l'attraction magnétique. *Bull. de la Soc. Intern. des Electr.*, mai 1907, t. VII, p. 307-319.

10. C.-R. Moore; A study of unbalanced magnetic. *Elect. Review and West. Elect.*, janv. 1911, t. LVIII, p. 83-86.

11. Miles Walker; *Specification and Design of dynamo-electric machinery*, 1915, p. 57-62, 347, 416, 452.

12. R.-E. Hellmund; Comparaison des enroulements en série et en parallèle pour les alternomoteurs. *Electrical World*, février 1907, t. XLIX, p, 388-309.

P. L.

L'attraction magnétique dans les machines électriques (1).

Le but de cet article est d'étudier la naissance et l'effet de l'attraction magnétique déséquilibrée dans les machines électriques et d'établir des formules simples à l'usage du constructeur. On y recherche si, dans une machine donnée, il y a une *induction critique* qui donne une attraction déséquilibrée supérieure à celle de toute autre induction, plus forte ou plus faible; on y cherche aussi une règle simple pour déterminer cette induction critique, et on étudie la flexion admissible des parties de la machine, exercée par l'attraction, et l'influence de celle-ci sur la vitesse critique. Les machines multipolaires et bipolaires d'une part, les machines à pôles saillants et celles à champ cylindrique avec enroulement réparti, d'autre part, montrent de frappantes différences, quoique le maximum des forces en jeu puisse être représenté par la même formule.

A. Attraction magnétique d'un pôle et d'une série de pôles. — L'attraction magnétique d'un centimètre carré de surface polaire est

$$\frac{\mathcal{B}^2}{8\pi} \text{ dynes},$$

ou, avec une exactitude de presque 1 pour 100,

$$\left(\frac{\mathcal{B}}{5\,000}\right)^2 \text{ kilogrammes},$$

si $\mathcal{B}$, induction dans les entrefers immédiatement adjacents à la surface polaire, est exprimé en lignes C. G. S. par cm². Pour avoir l'effort par pôle, pourvu que le pôle s'étende sur une partie relativement faible de la périphérie, il faut multiplier par l'aire S de la face polaire, mesurée en cm². En général, dans les machines électriques, les attractions magnétiques des différents pôles sont égales et sont disposées symétriquement autour du centre. Avec un stator ayant la même rigidité dans tous les diamètres, l'attraction magnétique ne causerait qu'un certain effort bien défini et modéré sur tout le pourtour de la machine. Mais avec une machine fendue, surtout si les joints ne sont pas très bien serrés, la flexion de la carcasse suivant la verticale sera différente de celle suivant l'horizontale et une distorsion peut s'ensuivre qui réduira sensiblement les entrefers dans le diamètre normal au plan du joint. Chaque moitié du stator peut être considérée comme une poutre, et la fixation de la moitié supérieure est différente de celle de la moitié inférieure qui contient les pieds.

Il peut arriver que, par erreur ou accident, une partie seulement des pôles soit excitée. Le pire cas est celui où tous les pôles d'une moitié de la machine sont surexcités, les pôles de l'autre moitié étant sans excitation. Les parties mécaniques de la machine doivent être assez fortes pour supporter ce cas sans subir de contrainte anormale, quoique, dans les grandes machines à petits entrefers, il ne soit pas possible d'empêcher une attraction du rotor jusqu'au contact avec le stator. Si l'on considère la force résultante sur une moitié du rotor ou du stator, il est clair que chaque

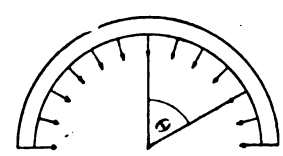


Fig. 1.

(1) E. Rosenberg. *Proceedings of the American Institute of Elect. Eng.*, t. XXXVII, p. 1069-1113; septembre 1918.

Digitized by Google

pôle, dont l'axe fait un angle θ avec l'axe de symétrie (fig. 1), fournira dans la direction de cet axe, une composante

$$\left(\frac{\mathcal{B}}{5\,000}\right)^2 \times S \times \cos\theta.$$

La valeur moyenne du cosinus sur un quadrant est $\frac{2}{3}$. Si, donc, la machine a $2p$ pôles, et s'il n'y a que p pôles adjacents excités, la force résultante, s'exerçant à la fois sur le stator et sur le rotor, sera

$$\frac{2}{\pi} \times \left(\frac{\mathcal{B}}{5\,000}\right)^2 \times S \times p. \qquad (1)$$

Si l'induction $\mathcal{B}$ dans l'entrefer n'est pas constante sur toute la face polaire, il faudra prendre la valeur moyenne de $\mathcal{B}^2$.

L'attraction déséquilibrée, qui n'apparaît que lorsqu'une seule moitié de la machine est excitée, croît avec la seconde puissance de l'induction ou du flux dans l'entrefer. Pour une induction 5 000, elle est de 1 kg : cm² ; pour une induction 10 000, 4 kg : cm²; pour une induction 12 250, 6 kg : cm². C'est l'induction la plus élevée possible, et non la normale, qu'il faut considérer pour ce cas, car il est probable que l'accident ou l'erreur qui cause la non-excitation d'une moitié des pôles causera la surexcitation de l'autre moitié, comme, par exemple, quand toutes les bobines excitatrices sont reliées en série, et que les fils allant aux bobines opposées sont court-circuités par accident. Il faut s'assurer que l'arbre, la carcasse, etc, peuvent supporter sans surcharge l'effort déterminé par la formule (1) ou que le noyau du rotor sera attiré au contact de celui du stator avec une force insuffisante pour produire un excès de contrainte.

B. — Attraction déséquilibrée due au décentrage. — I. — *Machines multipolaires à pôles saillants.* — Un cas tout différent et très général est celui d'une machine dont les bobines ont une excitation égale, mais produisent un flux différent sous les différents pôles à cause des inégalités d'entrefer. Les causes peuvent en être nombreuses : la surface externe du rotor et la surface interne du stator ne sont pas parfaitement cylindriques. — ou, si elles le sont à froid, une différence de température entre le stator et la plaque de fondation, quand la machine s'échauffe, peut donner une déformation notable —, jeu entre l'arbre et les paliers —, montage imparfait — flexion de l'arbre — léger affaissement des fondations.

Etudions le cas d'un rotor et d'un stator ayant chacun une surface cylindrique, mais dont les centres sont écartés d'une quantité x (le décentrage). Sans décentrage, l'entrefer radial aurait une valeur g. Appelons *diamètre de symétrie* le diamètre mené par les deux centres. Supposons d'abord une machine multipolaire à pôles saillants, toutes les bobines excitatrices donnant le même nombre d'ampères-tours. Sur le diamètre de symétrie, l'entrefer sera en un point réduit à $g - x$, et au point opposé accru jusqu'à $g + x$. Aux points dont le rayon fait un angle θ avec l'axe de symétrie, l'accroissement ou la réduction de l'entrefer seront sensiblement $x \cos\theta$. A angle droit avec le diamètre de symétrie, il n'y aura ni accroissement ni réduction.

Le flux émis par un pôle retourne par les moitiés contiguës des pôles adjacents. Dans une machine tripolaire, le flux sous chaque pôle est le même malgré les inégalités d'entrefer ; dans une machine multipolaire les pôles d'une moitié de la machine fourniront un flux plus intense que ceux de l'autre moitié, à moins qu'il n'y ait des connexions d'équilibre. Ceci à part, le flux de chaque pôle différera de celui des autres et sera en rapport avec l'entrefer local. Les pôles situés sur le diamètre normal au diamètre de symétrie fourniront le flux normal, car leurs pôles voisins dans l'une des moitiés (à entrefer réduit) tendront à augmenter leur flux de la même quantité que ceux de l'autre moitié (à entrefer agrandi) tendront à le diminuer. Ainsi, dans une machine multipolaire, chaque pôle peut être considéré comme créant son propre flux, indépendamment des pôles adjacents.

Supposons que la machine soit excitée pour donner, avec l'entrefer moyen, une induction $\mathcal{B}$ par centimètre carré de surface polaire. Là où l'entrefer est à $g - x$, l'induction aura une valeur plus grande $\mathcal{B}_2$; là où il est augmenté jusqu'à $g + x$, elle est diminuée à une valeur $\mathcal{B}_1$. La première donne une attraction magnétique plus grande dans un sens que la seconde dans le sens opposé, et la différence de deux efforts ou *l'attraction déséquilibrée locale* en kilogrammes par centimètre carré de surface polaire est donnée par la formule

$$\left(\frac{\mathcal{B}_2}{5\,000}\right)^2 - \left(\frac{\mathcal{B}_1}{5\,000}\right)^2 = \left(\frac{\mathcal{B}_2 + \mathcal{B}_1}{5\,000}\right) \times \left(\frac{\mathcal{B}_2 - \mathcal{B}_1}{5\,000}\right). \qquad (2)$$

On peut déterminer facilement les inductions $\mathcal{B}_1$ et $\mathcal{B}_2$, la caractéristique magnétique de la machine étant donnée. Dans la figure 2, les abscisses H de la courbe représentent la

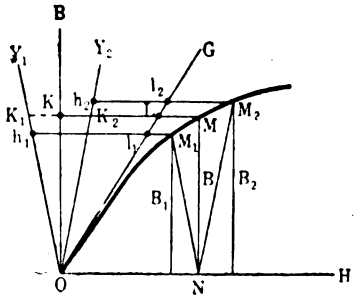


Fig. 2.

force magnétomotrice d'excitation par pôle, tandis que les ordonnées $\mathcal{B}$ représentent l'induction par centimètre carré de surface polaire avec l'entrefer normal. ON = KM représente une certaine force magnétomotrice nécessaire pour produire l'induction $\mathcal{B}$. OG est la *ligne d'entrefer*, le segment KL représentant la force magnétomotrice nécessaire pour la magnétisation de l'entrefer g, le segment LM la force magnétomotrice relative à la magnétisation du fer. Mais l'entrefer réellement existant n'est pas g, mais $g + x$ dans un cas et $g - x$ dans l'autre. Menons par O deux lignes OY_1 et OY_2 telles que, pour une induction quelconque, $\mathcal{B}$ (NM), K_1L représente la force magnétomotrice nécessaire pour l'entrefer $g - x$. Menons alors par N deux lignes respectivement parallèles à ces nouveaux axes OY_1 et OY_2. Les points M_1 et M_2 où ces lignes coupent la courbe de magnétisme donnent alors les inductions réelles $\mathcal{B}_1$ et $\mathcal{B}_2$ dans l'entrefer sous les pôles, avec l'entrefer accru et l'entrefer réduit pour une excitation donnée ON car

$$h_1M_1 = h_2M_2 = ON.$$

En général, les abscisses des lignes OY_1 et OY_2 sont, avec les abscisses de OG, pour la même induction, à très

Digitized by Google

peu près dans le même rapport que le déplacement x à la longueur d'entrefer g. Pour de petits déplacements, OY_1 et OY_2 peuvent toujours être menées symétriques par rapport à l'axe des ordonnées, et leur force magnétomotrice pour une induction donnée $\mathcal{B}$ est à peu près $\pm x \times \mathcal{B}$, le décentrement x étant mesuré en centimètres et la force magnétomotrice en gilberts $\left(\frac{4\pi}{10}\text{ ampères-tours}\right)$.

Dans la formule (2) figurent la somme et la différence des deux inductions $\mathcal{B}_2$ et $\mathcal{B}_1$. Dans la figure 3, la partie M_1MM_2 de la figure 2 est dessinée à une plus grande échelle et aussi la corde M_1M_2 qui coupe en m l'ordonnée du point M. La corde fait un angle α avec l'horizontale. La différence $\mathcal{B}_2 - \mathcal{B}_1$ est dans la figure représentée par :

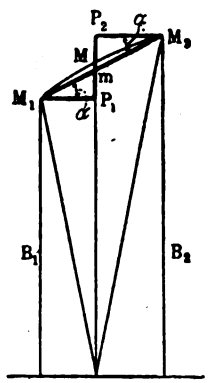


Fig. 3.

$$P_1P_2 = P_1M + mP_2 = (M_1P_1 + P_2M_2) \times \operatorname{tg}\alpha,$$

M_1P_1 et P_2M_2 sont respectivement les abscisses des caractéristiques relatives aux inductions $\mathcal{B}_1$ et $\mathcal{B}_2$ et sont donc égales à $x\mathcal{B}_1$ et $x\mathcal{B}_2$. On a donc :

$$\mathcal{B}_2 - \mathcal{B}_1 = (\mathcal{B}_2 + \mathcal{B}_1)\, x \operatorname{tg}\alpha,$$

et la formule (2) peut s'écrire sous la forme

$$\left(\frac{\mathcal{B}_2+\mathcal{B}_1}{5\,000}\right)^2 x \operatorname{tg}\alpha.$$

Si x n'est pas très grand, la somme $\mathcal{B}_2 + \mathcal{B}_1$ peut se remplacer exactement par $2\mathcal{B}$ et l'angle que fait la corde avec l'horizontale peut se remplacer par l'angle que fait avec l'horizontale la tangente au point M; $\operatorname{tg}\alpha$ est alors le *gradient* de la courbe au point M et peut s'exprimer comme un quotient différentiel $\frac{d\mathcal{B}}{dH}$, c'est-à-dire le rapport d'un accroissement infinitésimal d'induction à l'accroissement de force magnétomotrice qui le produit.

L'attraction déséquilibrée en kg : cm² est donc

$$4\left(\frac{\mathcal{B}}{5\,000}\right)^2 x \operatorname{tg}\alpha = 4\left(\frac{\mathcal{B}}{5\,000}\right)^2 x \frac{d\mathcal{B}}{dH}. \qquad (3)$$

Une question très importante est maintenant celle-ci : comment l'expression de la formule (3) change-t-elle quand l'excitation augmente? Le premier tronçon de presque toutes les courbes de magnétisme est une ligne droite passant par l'origine. Pour toute partie rectiligne de la caractéristique, qu'elle passe ou non par l'origine, le gradient $\frac{d\mathcal{B}}{dH}$ est constant, l'attraction déséquilibrée croîtra donc comme le carré de l'induction $\mathcal{B}$. Mais dès que la saturation du circuit magnétique devient perceptible, le quotient $\frac{d\mathcal{B}}{dH}$ diminue constamment et la question est de trouver l'induction $\mathcal{B}$ pour laquelle le produit $\mathcal{B}^2\frac{d\mathcal{B}}{dH}$ est minimum. La figure 4 indique un procédé graphique. Pour un point M de la courbe de magnétisme I, on trace l'ordonnée $\mathcal{B} = NM$ et une ligne MP perpendiculaire à la direction de la courbe au point M. L'angle NMP est égal à l'angle α compris entre la courbe au point M et l'horizontale

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{d\mathcal{B}}{dH},$$

$$NP = NM \operatorname{tg}\alpha = \mathcal{B}\operatorname{tg}\alpha,$$

et l'aire du triangle NMP est

$$\frac{1}{2}\mathcal{B}.\mathcal{B}.\operatorname{tg}\alpha = \frac{\mathcal{B}^2}{2}\cdot\frac{d\mathcal{B}}{dH}.$$

Si l'on construit de tels triangles pour différents points de la courbe, l'aire de chaque triangle sera proportionnelle à la fonction $\mathcal{B}^2\frac{d\mathcal{B}}{dH}$ pour les différents points.

Afin d'obtenir une courbe représentant l'attraction magnétique pour chaque excitation, il suffit maintenant de remplacer tous les triangles NPM par d'autres ayant une base arbitraire convenable NR. Si l'on joint R et M et si l'on mène une ligne PS parallèle à RM, la géométrie élémentaire montre que les triangles NPM et NRS ont des aires égales. (La ligne RS du dernier triangle n'est pas tracée sur la figure 4.) NS est donc une mesure de la fonction $\mathcal{B}^2\frac{d\mathcal{B}}{dH}$. L'échelle est déterminée par la base NR. Si l'on répète la construction pour d'autres points (elle est représentée par un autre point m), on obtient la courbe II de la figure 4, dont la première partie, correspondant à la partie rectiligne de la caractéristique magnétique, est une parabole à axe vertical. Presque aussitôt que la caractéristique magnétique commence à s'infléchir, la courbe de l'attraction atteint son maximum et décroît ensuite constamment.

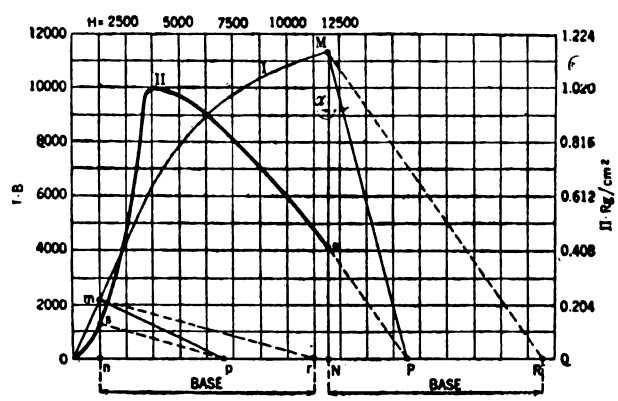


Fig. 4.

Ceci nous apprend une chose très importante. Dans les machines à pôles saillants qui ne sont pas *entièrement* non saturées, il ne suffit pas de calculer l'attraction magnétique déséquilibrée pour une induction forte. L'excitation *critique*, pour laquelle l'attraction magnétique est maximum, est atteinte tout au commencement du *coude* de la courbe de magnétisme; comme les génératrices et les moteurs doivent pouvoir supporter des variations anormales de tension, l'attraction magnétique déséquilibrée doit être calculée par cette excitation critique.

L'allure de variation de l'attraction magnétique, que représente la courbe II de la figure 4, est celle qu'on obtient pour la plupart des machines électriques.

Digitized by Google

Il n'est pas nécessaire de construire point par point la courbe entière de l'attraction magnétique déséquilibrée. Quelques points à l'extrémité de la partie rectiligne de la caractéristique magnétique et au commencement de sa partie incurvée seront suffisants. Ce qui nous intéresse en effet, c'est seulement la valeur *maximum* de l'attraction magnétique.

On voit maintenant quels sont les deux facteurs qui permetteut de réduire, dans une machine dont les dimensions principales sont fixées, l'attraction magnétique déséquilibrée produite par un décentrage fini. Le premier est l'accroissement de l'entrefer, parce que $\frac{d\mathcal{B}}{dH}$, pour la partie rectiligne de la courbe de magnétisme, est à très peu près inversement proportionnel à la longueur d'entrefer. Le second moyen est la diminution de la section du fer, par exemple celle des pôles et des dents, parce qu'on fait ainsi s'infléchir plus tôt la caractéristique magnétique.

Jusqu'ici on a calculé l'attraction déséquilibrée radiale par centimètre carré pour un décentrage x. Le décentrage varie dans un quadrant de x à o selon l'expression $x \cos \theta$.

L'attraction magnétique radiale par centimètre carré, dans les différentes parties d'une machine multipolaire, sera donc à très peu près proportionnelle à $x \cos \theta$ et la composante de cette attraction suivant le *diamètre de symétrie* sera proportionnelle à $x \cos \theta . \cos \theta = x \cos^2 \theta$.

Dans les machines où le nombre des pôles est divisible par 4, on peut toujours considérer ensemble deux points, séparés par un quadrant entier, l'un avec un angle θ, l'autre avec un angle $90° + \theta$. La *somme* des composantes de ces attractions par centimètre carré est :

$$4 \left(\frac{\mathcal{B}}{5\,000}\right)^2 \frac{d\mathcal{B}}{dH} [x \cos^2\theta + x \cos^2(90 + \theta)] = 4 \left(\frac{\mathcal{B}}{5\,000}\right)^2 x \frac{d\mathcal{B}}{dH},$$

puisque $\cos (90° + \theta) = - \sin \theta$ et par suite $\cos^2 \theta + \cos^2 (90° + \theta) = 1$.

Dans de telles machines, on peut donc toujours trouver deux paires de pôles qui, prises ensemble, développent la même attraction déséquilibrée qu'un pôle unique, de dimensions et induction identiques, dont l'axe est parallèle et la face polaire normale au diamètre de symétrie.

Dans une machine à 6 pôles, trois paires de pôles ensemble développent 1,5 fois l'attraction déséquilibrée due à une paire de pôles imaginaire dont l'axe est parallèle et la face polaire normale au diamètre de symétrie, comme on le prouve par la considération suivante :

Dans une machine à six pôles, on peut considérer à la fois trois points définis par des angles θ, $60° + \theta$, $120° + \theta$, et l'on a

$$\cos^2\theta + \cos^2(60° + \theta) + \cos^2(120° + \theta) = \frac{1 + \cos 2\theta}{2} + \frac{1 + \cos (120° + 2\theta)}{2} + \frac{1 + \cos (240° + 2\theta)}{2} = \frac{3}{2}.$$

La même recherche pour une machine ayant 10, 14... pôles confirmerait que *l'attraction déséquilibrée totale peut se calculer dans toutes les machines multipolaires comme si l'entrefer était réduit d'une quantité x dans un quart de tous les pôles, augmenté de x dans un autre quart de tous les pôles, et laissé sans changement dans les deux autres quarts.* Comme les pôles des machines électriques sont symétriques, il n'y a pas de difficulté à calculer l'attraction relative à un demi-pôle.

L'attraction magnétique déséquilibrée totale F_x de la machine entière s'obtiendra donc en multipliant l'effort par centimètre carré, tiré de la formule (3), par $\frac{pS}{2}$, ou un quart de l'aire de face polaire totale de la machine.

$$F_x = \frac{pS}{2} 4 \left(\frac{\mathcal{B}}{5\,000}\right)^2 x \frac{d\mathcal{B}}{dH} = 2pS \left(\frac{\mathcal{B}}{5\,000}\right)^2 x \frac{d\mathcal{B}}{dH}. \quad (4)$$

Appelons $\mathcal{B}_m$ une induction, située sur le prolongement de la partie rectiligne de la caractéristique, qui donne la même attraction magnétique que celle qu'on obtient réellement avec l'induction *critique*. En réalité $\mathcal{B}_m$ sera légèrement plus faible que l'induction critique; mais on appellera, avec une petite inexactitude, $\mathcal{B}_m$ l'induction critique.

Pour la partie rectiligne de la caractéristique, on peut remplacer $\frac{x\,d\mathcal{B}}{dH}$ par $\frac{x\mathcal{B}}{H}$ ou $\frac{T_x}{T_{circ}}$, T_x représentant les ampères-tours nécessaires pour produire dans un entrefer x une induction comprise dans la partie rectiligne de la caractéristique et T_{circ} les ampères-tours par pôle, nécessaires pour produire dans le circuit magnétique de la machine, avec l'entrefer correct, la même induction.

La formule prend alors la forme simple suivante :

$$F_x = 2pS \left(\frac{\mathcal{B}_m}{5\,000}\right)^2 \frac{T_x}{T_{circ}}, \quad (5)$$

ou

$$F_x = 2pS \left(\frac{\mathcal{B}_m}{5\,000}\right)^2 \frac{x}{g_1}, \quad (6)$$

si g_1 est l'*entrefer virtuel*, c'est-à-dire un entrefer qui absorberait, pour une induction comprise dans la partie rectiligne de la caractéristique, autant d'ampères-tours que l'entrefer réel et le trajet dans le fer du demi-circuit magnétique ensemble.

Pour les machines à faible entrefer, comme les moteurs asynchrones, l'entrefer virtuel est sensiblement plus grand que l'entrefer réel, soit de 30 pour 100 ou davantage, tandis que, dans les génératrices, surtout les turbo-génératrices, l'entrefer virtuel est presque égal à l'entrefer réel.

A l'aire totale de face polaire, $2pS$, on peut substituer la surface cylindrique de champ $c\pi DL$, où c représente le *facteur polaire* ou rapport de l'arc polaire au pas polaire, D le diamètre et L la longueur utile du champ (canaux de ventilation, s'il en existe, non compris). La formule s'écrit alors

$$F_x = c\pi DL \left(\frac{\mathcal{B}_m}{5\,000}\right)^2 \frac{x}{g_1}. \quad (6a)$$

Le facteur c est le plus souvent voisin de $\frac{2}{3}$.

Exemple. — La caractéristique magnétique I de la figure 4 est celle d'un alternateur à 40 pôles, dont chacun a 650 cm² d'aire de face polaire. L'entrefer radial est de 0,51 cm.

$$2p = 40. \quad S = 650, \quad g = 0{,}51 \text{ cm}.$$

La courbe II de l'attraction magnétique déséquilibrée indique que le maximum est de 1,02 kg : cm², pour un décentrage de 0,1 cm. L'échelle de la courbe des efforts II est représentée sur la droite de la figure 4 et on peut la vérifier en calculant l'effort pour une induction déterminée comprise dans la partie rectiligne de la caractéristique magnétique. On peut aussi, au lieu de construire la courbe des efforts d'attraction, déterminer seulement son maximum ; l'auteur

Digitized by Google

indique pour cela un procédé graphique simple qui permet de trouver le point terminus de la partie rectiligne de la caractéristique magnétique, point dont l'ordonnée est l'induction critique $\mathcal{B}_m$; on trouve ici $\mathcal{B}_m = 6\,300$. D'autre part, la partie rectiligne de la caractéristique passe par un point dont l'ordonnée $\mathcal{B} = 4300$ et l'abscisse $H = 2500$. Le rapport

$$\frac{x.d\mathcal{B}}{dH} = \frac{T_x}{T_{circ}} = \frac{4\,300.x}{2\,500} = 1{,}72.0{,}1.$$

On a alors pour l'attraction déséquilibrée relative à la machine entière, d'après la formule (5),

$$F_x = 2pS\left(\frac{\mathcal{B}_m}{5\,000}\right)^2 \frac{T_x}{T_{circ}} = 40 \times 650 \times \left(\frac{6\,300}{5\,000}\right)^2 \times 1{,}72 \times 0{,}1 = 7\,100 \text{ kgs.}$$

Si l'on avait employé la formule (6) au lieu de la formule (5), on aurait obtenu d'après la partie rectiligne de la caractéristique magnétique

$$g_1 = \frac{2\,500}{3\,300} = 0{,}58 \text{ cm},$$

(c'est-à-dire que l'entrefer virtuel est supérieur de 0,07 cm ou 14 pour 100, à l'entrefer réel)

$$F_x = 2pS\left(\frac{\mathcal{B}_m}{5\,000}\right)^2 \frac{x}{g_1} = 40 \times 650 \left(\frac{6\,300}{5\,000}\right)^2 \frac{0{,}1}{0{,}58} = 7\,1000 \text{ kg.}$$

Il faut noter que beaucoup de constructeurs croient que, dans une machine donnée, avec des dimensions de fer fixées, on diminue l'attraction magnétique déséquilibrée en diminuant la saturation. Ceci est contraire au résultat des présentes recherches, (à moins que l'induction ne soit réduite au-dessous du point terminus de la partie rectiligne de la caractéristique). Tant que les dimensions du fer ne sont pas changées, on peut accroître l'induction autant qu'on veut, et l'effet produit sera en réalité une diminution de l'attraction magnétique à la tension normale, quoique l'attraction maximum *possible* qu'on doit considérer pour la partie mécanique du projet reste la même. L'attraction magnétique déséquilibrée ne peut être diminuée que par une réduction du flux, et par une réduction simultanée des sections de fer.

Ayant ainsi exposé la méthode suivie par l'auteur, son application aux machines multipolaires à pôles saillants et l'établissement d'une formule (6*a*) convenant à la plupart des machines, nous mentionnerons seulement les conclusions auxquelles il arrive dans le reste de son travail.

Dans les machines multipolaires à enroulement d'excitation uniformément réparti (alternateurs de groupes à turbine, moteurs asynchrones) et aussi dans les machines à pôles saillants avec entrefer graduellement variable le long d'un pôle (plus grand aux cornes qu'au centre), l'effort maximum n'est atteint que pour des inductions plus fortes et varie bien moins avec les variations d'induction. Il se calcule encore par la formule (6*a*), en donnant au facteur C la valeur 2/3.

Dans les machines à inducteurs cylindriques, mais non dentés uniformément sur toute la périphérie (turbo-alternateurs dans lesquels la partie médiane de chaque pôle ne porte pas la denture), la courbe de magnétisme d'où l'on tirera $\mathcal{B}_m$ et g_1 sera une moyenne entre deux autres : la courbe de magnétisme relative à la partie dentée du pôle, et la courbe relative à sa partie lisse. On appliquera alors la formule (6*a*) avec $C = 2/3$.

Pour les machines à pôles saillants avec entrefer graduellement variable le long d'un pôle, le cas est analogue : on trace une courbe de magnétisme moyenne, relative au cas où l'entrefer (abstraction faite du décentrage du rotor), avait une valeur moyenne et constante le long d'un pôle ; on détermine $\mathcal{B}_m$ et g_1, et on applique la formule (6 *a*) avec $C = 2/3$.

Dans les machines bipolaires, l'attraction déséquilibrée a des valeurs différentes pour le décentrement dans la direction de l'axe du champ et à angle droit avec cet axe. La valeur la plus élevée pour un inducteur cylindrique avec enroulement réparti est atteinte pour une valeur élevée de l'induction maximum (c'est-à-dire de l'induction uniforme qui règne au milieu du pôle) et peut se calculer, d'après la formule (6*a*), avec un facteur polaire d'environ 2 3. Dans les machines bipolaires où la partie médiane de chaque pôle est sans denture, il ne faut prendre que la caractéristique magnétique de la partie dentée pour déterminer $\mathcal{B}_m$ et g_1 Pour les machines à pôles saillants avec arc polaire de 120°, le facteur polaire C est d'environ 0,4. La courbe de magnétisme, d'où l'on tire $\mathcal{B}_m$ et g_1, doit être tracée, dans les machines bipolaires, sans tenir compte des forces magnétomotrices nécessaires pour les noyaux du stator et du rotor.

En admettant que, sous l'influence de l'attraction magnétique déséquilibrée, l'entrefer subit des variations égales du fait de la flexion de l'arbre et du fait de la flexion combinée de toutes les autres pièces de la machine, l'attraction magnétique causée par un décentrage égal à la *flexion par pesanteur* de l'arbre ne doit pas dépasser 1/6 du poids du rotor, pour qu'on soit sûr que le décentrage, au moment d'une application soudaine de l'excitation, ne dépasse pas le double de la valeur du décentrage mécanique primitif.

Si les autres parties de la machine étaient d'une rigidité infinie, on pourrait admettre, pour l'attraction magnétique causée par un décentrage égal à la flexion par pesanteur, une valeur égale à 1,3 environ du poids du rotor.

(La *flexion par pesanteur* est la flexion statique de l'arbre *placé horizontalement* sous l'influence du poids du rotor.)

Ainsi la machine dont la caractéristique magnétique est représentée fig. 4 a un rotor d'un poids de 9 000 kg environ. On admet une attraction déséquilibrée atteignant au maximum $\frac{1}{6}$. $9\,000 = 1\,500$ kg pour un décentrage égal à la flexion par pesanteur. L'attraction déséquilibrée pour un décentrage de 0,1 cm ayant été trouvée égale à 7 100 kg, la flexion par pesanteur admissible est $\frac{1\,500}{7\,100} \times 0{,}1 = 0{,}021$ cm et l'arbre doit être assez robuste pour que cette flexion ne soit pas dépassée.

La *vitesse critique* (1) est abaissée par l'attraction magné-

(1) Si le centre de gravité d'un rotor n'est pas sur l'axe de rotation, mais à une distance x de cet axe, il se développera une force centrifuge proportionnelle au déplacement x et au carré du nombre de tours par minute. A une certaine vitesse, la force centrifuge aura une valeur telle qu'elle produirait (en l'absence des frottements, etc.) une flexion de l'arbre égale au décentrage originel. Le décentrage étant doublé, la force centrifuge serait doublée, produisant un accroissement double de la flexion, etc. Donc à cette vitesse, appelée *vitesse critique*, un décentrage originel fini causerait un décentrage final de valeur infinie, s'il n'y avait pas de résistance à ces mouvements. Quoique, en réalité, la résistance maintienne le décentrage à des valeurs finies, il y a de graves inconvénients au grand accroissement de vibration

Digitized by Google

tique déséquilibrée et varie avec les changements d'excitation. Pour la plus grande valeur admissible de l'attraction déséquilibrée, mentionnée dans la règle précédente, l'abaissement de la vitesse critique est de 18 pour 100. Dans les machines dont l'enroulement a des qualités égalisatrices parfaites, il ne se produit pas d'abaissement de la vitesse critique. — P. L.

Programme d'électrification partielle des chemins de fer français ; expérience actuellement acquise en France et à l'étranger dans l'électrification des grandes lignes. (1)

Nous avons déjà donné dans la « R. G. E » du 15 mars 1919, t. v, p. 401 un court résumé de la communication faite par M. Mauduit, le 5 mars 1919, à la Société française des électriciens ; nous y revenons aujourd'hui avec plus de détails, sans insister, toutefois, sur certaines questions déjà étudiées dans la presse technique.

1. — **Programme d'électrification partielle des chemins de fer français.** — L'économie de charbon qui résultera de la substitution de l'énergie des chutes d'eau à celle de la houille pour la traction des trains est le principal intérêt présenté par l'électrification partielle du réseau ferré français.

Avant la guerre, la France consommait 60 000 000 t de charbon et n'en produisait que 40 000 000 t, d'où un déficit de 20 000 000 t, qui, au prix moyen de 20 fr la t, correspondait à un tribut annuel de 400 millions à l'étranger.

En 1913, la consommation totale de charbon des grands réseaux français, y compris la grande et la petite ceinture, a été de 7 millions de tonnes représentant 176 millions de francs au prix moyen de 25 fr la tonne sur tender. D'ici 20 ans on peut admettre que cette consommation sera doublée.

Les pouvoirs publics se sont émus de cette situation et, en novembre 1918, un Comité a été constitué au Ministère des Travaux publics et des Transports sous la présidence de M. G. Cordier, Président du Conseil de l'Energie électrique du Littoral méditerranéen, pour étudier le problème de l'électrification des grandes lignes.

Ce Comité, comprenant des délégués des six grands réseaux, de l'Administration et de l'Industrie a immédiatement commencé ses travaux et nommé deux sous-commissions, l'une dite *administrative*, présidée par M. Mussat, directeur du Contrôle du Matériel roulant des grands réseaux, chargée d'examiner spécialement le programme d'électrification des trois réseaux intéressés, Midi, Orléans et P.-L.-M. et l'organisation des usines destinées à produire l'énergie hydro-électrique nécessaire ; l'autre, dite *technique*, sous la présidence de M. Monmerqué, chargée d'étudier les divers systèmes actuellement utilisés pour la traction électrique des grandes lignes et, si possible, de faire choix d'un mode de traction unique pour les trois réseaux considérés, afin qu'un locomoteur d'un réseau quelconque puisse circuler et fonctionner sur tout l'ensemble des voies des grandes lignes électrifiées.

En ce qui concerne les lignes de banlieue, la traction électrique s'est imposée par la nécessité d'augmenter la capacité de transport des installations existantes qu'il est souvent impossible de développer, et par la suppression des fumées. L'électrification totale de la banlieue Etat est en voie d'achèvement ; il serait bon d'envisager celle des autres lignes de banlieue et de la Ceinture.

L'équipement des lignes de banlieue en courant continu 600 v donne toute satisfaction et ne présente aucune difficulté ; la question est donc d'ordre purement économique et financier.

Le Comité n'a d'ailleurs pas à s'occuper des lignes de banlieue et sa Sous-Commission administrative a procédé à l'examen du programme d'électrification des trois réseaux intéressés et approuvé ce programme qui a été dressé en tenant compte des propriétés caractéristiques de la traction électrique.

Les lignes présentant à la fois un profil accidenté et un trafic important sont les plus intéressantes à électrifier, car la traction électrique permet d'y réaliser une augmentation considérable de la capacité de transport, ce qui peut occasionner une grande économie de première installation en évitant le doublement onéreux de certaines voies simples. L'exploitation est plus économique qu'avec la vapeur.

Pour les autres lignes le problème est à étudier de très près dans chaque cas et dépend de la quantité de charbon consommée par kilomètre de voie et des frais d'installation et d'exploitation du système de traction électrique adopté.

Le programme qu'on a décidé de réaliser demande un délai d'une vingtaine d'années pour son exécution ; il comprend environ 8 200 km. La Compagnie des Chemins de fer du Midi possède déjà 150 km de lignes électrifiées.

Réseau du Midi. — Environ 3 000 km, comprenant l'ensemble du réseau, sauf la ligne plate Bordeaux-Cette et les petites lignes plates affluentes ; en plus des lignes des Pyrénées et des Cévennes, la ligne à grand trafic, mais faibles déclivités, de Bordeaux à Hendaye est comprise dans le programme d'électrification.

Réseau d Orléans. — Environ 3 000 km, comportant toutes les lignes du Plateau central comprises dans le triangle allongé limité par le P.-L.-M. et les lignes de Saint-Sulpice-Laurière à Moulins, d'une part, et à Toulouse par Figeac, d'autre part ; la grande ligne de Châteauroux à Montauban, les lignes d Angoulême à Limoges et de Limoges-Périgueux-Agen, ainsi que quelques lignes reliant cette dernière au triangle mentionné plus haut.

Réseau du P.-L.-M. — Environ 2 200 km, savoir : la ligne de montagne, Nîmes à Langone, dont la capacité accrue par l'électrification permettrait de soulager considérablement la grande ligne Paris-Marseille, les lignes de montagne Lyon à Genève, Culoz à Modane, où aboutit une ligne électrique italienne, et Montmélian à Marseille par Grenoble et Veynes, ligne aux déclivités très importantes, la ligne à grand trafic Lyon à Marseille, et les lignes de Marseille à Vintimille et de Tarascon à Cette.

L'économie de charbon réalisée par suite de l'électrification de ces 8 200 km de lignes serait de 1,5 million de tonnes au trafic de 1913 et de 3 millions de tonnes au trafic probable de 1940.

La consommation d'énergie correspondante sera environ de 1 milliard de kilowatts-heures au trafic de 1913 et de 2 milliards de kilowatts-heures au trafic de 1940.

La Compagnie des Chemins de fer du Midi a déjà étudié toutes les usines hydrauliques nécessaires à l'électrification de son réseau. Les usines de Soulom, la Cassagne et Font-

qui se produit à la vitesse critique et l'on s'assure toujours soigneusement par le calcul, dans les projets de machines à grande vitesse, que la vitesse normale est notablement inférieure ou supérieure à la vitesse critique.

(1) A. Mauduit, professeur d'Electrotechnique à l'Université de Nancy. *Bulletin de la Société française des électriciens*, mars, avril, mai 1919, t. IX (3e série).

Digitized by Google

pédrouse sont en fonctionnement ; l'usine d'Eget est en cours d'exécution et les usines des vallées d'Ossan et de la Têt, dans les Pyrénées, et d'Aumessas, dans les Cévennes, sont en projet.

La Compagnie d'Orléans envisage l'exécution d'un certain nombre d'usines, sur la Haute-Dordogne et ses affluents, capables de fournir une puissance de 100 000 kw.

Le P.-L.-M. étudie l'équipement d'une usine au Mont-Lozère pour alimenter la ligne de Nimes à Langone et se préoccupe de s'assurer dans les Sociétés de distribution d'énergie les participations suffisantes pour réaliser l'alimentation électrique des autres lignes.

La Sous-Commission administrative, dans son examen, s'est inspirée de ce double but : donner aux Compagnies de chemins de fer les moyens d'assurer la sécurité des transports dont elles sont responsables et prendre toutes les précautions pour que l'énergie disponible sous forme de houille soit utilisée sans gaspillage avec le meilleur rendement.

On évalue approximativement la dépense totale nécessitée par l'exécution de ce programme à 3,5 milliards en comptant une majoration de 100 pour 100 sur les prix de 1913. Cette somme comprend les travaux d'installation fixe sur les voies, les locomoteurs et les usines. On peut remarquer que le tiers de cette somme, correspondant au matériel tracteur, ne représente pas une dépense imputable à l'électrification, puisque les tracteurs électriques remplaceront des locomotives à vapeur qui auraient coûté sensiblement le même prix et qu'une certaine partie de la dépense d'établissement des centrales comportera des travaux de régularisation de rivières, utiles à la fois à l'industrie d'aval, à l'agriculture et éventuellement à la navigation.

Le Comité estime qu'étant donné le grand développement envisagé pour les lignes électrifiées sur les trois réseaux voisins, il serait très important, si possible, d'adopter le même type de distribution au tracteur afin que chaque tracteur puisse au besoin circuler sur l'ensemble des lignes françaises électrifiées.

Cette unification abaisserait probablement les dépenses d'installation, augmenterait la facilité de circulation, assurerait la commodité de manœuvre dans les gares communes à plusieurs réseaux et serait d'un grand intérêt pour l'exploitation en cas de mobilisation et lors du retour des chemins de fer à l'État.

La Sous-Commission technique, qui comprend des techniciens de l'Administration et des grandes Compagnies, s'occupe de réunir tous les documents nécessaires pour obtenir le plus tôt possible un accord entre les intéressés sur le choix d'un système unique. Elle a envoyé en Suisse et en Italie une mission technique qui a visité en détail les installations de traction électrique et une autre mission est actuellement aux États-Unis pour y étudier les modes de traction qui ont reçu dans ce pays des applications importantes et qui n'existent pas en Europe.

M. Mauduit, qui fait partie des missions précitées, a fait ensuite une étude détaillée des systèmes de traction électrique actuellement utilisés : le triphasé, le monophasé et le continu à haute tension.

II. — **Système triphasé.** — Nous n'insisterons pas sur les généralités rappelées par M. Mauduit et qui sont bien connues de tous nos lecteurs et nous étudierons avec lui les chemins de fer triphasés italiens.

Chemins de fer triphasés italiens. — Les voie ferrées italiennes à traction triphasée comprennent :

1° *Les lignes de la Valteline*, Lecco-Colico-Sondrio et Sondrio-Chiavenna, longueur 105,6 km, avec nombreux tunnels, courbes fréquentes descendant à 300 m de rayon et pentes maxima de 20 mm, exploitées électriquement depuis 1902 ; trafic annuel 1906-1907, 67,5 millions de tonnes-kilomètres remorquées devenu en 1913-1914, 97,8 millions de tonnes kilomètres ;

2° *L'ancienne ligne des Giovi* (Giovi-Vecchia), à double voie, Sampierdarena - Campasso - Ponte-Decimo - Busalla - Ronco, longueur 28,3 km, avec pentes atteignant 35 mm et une moyenne de 27 mm sur le tronçon de Ponte Decimo à Busalla (10,4 km), nombreux tunnels et courbes de 400 m de rayon ; trafic annuel 1913-1914, 115 millions de tonnes-kilomètres et actuellement 150 millions de tonnes-kilomètres, exploitées électriquement depuis 1911.

3° *La nouvelle ligne des Giovi*, Gênes-Sampierdarena-Ronco, à double voie, longueur 27,5 km, maximum des rampes, 16 mm ; trafic de 300 millions de tonnes-kilomètres, mise en service ces dernières années.

4° *La ligne du Mont-Cenis*, Bussoleno-Bardonecchia-Modane (1912-1915), longueur 59,3 km, rampe maximum, 30 mm ; voie unique de Bussoleno à Salbertrand (23,6 km) et double de Salbertrand à Modane (35,7 km), trafic annuel, 150 millions de tonnes kilomètres.

5° *La ligne de Savona à Ceva* (1914), longueur 45,3 km en montagnes russes, pente maximum 25 mm, entièrement à voie unique ; trafic actuel 180 millions de tonnes-kilomètres.

6° *La ligne de Monza à Lecco* (1914-1915) à double voie sur 7 km entre Lecco et Calolzio et à simple voie sur le reste du trajet, longueur 37,3 km avec pente maximum de 12 mm.

7° *La ligne de Turin à Pignerol* avec pente maximum de 11 mm et longueur de 37,2 km dont 7,5 à double voie.

8° La ligne de Sampierdarena à Savone, ligne plate de 39,7 km, à voie unique.

Soit au total une longueur de route de 390 km et 650 km de voie simple.

M. Mauduit fait ensuite une description des lignes de contact et des locomoteurs employés par les chemins de fer de l'Etat italien ; nous ne reviendrons pas sur ces questions qui ont été traitées avec détails dans « L'Éclairage électrique », « La Lumière électrique », « La Revue électrique » et la « Revue générale de l'Électricité », nous dirons seulement que les bielles triangulaires employées sur les locomotives Westinghouse ont donné d'excellents résultats et que les rhéostats liquides sont d'une manœuvre beaucoup plus facile que les rhéostats métalliques.

Mode d'exploitation sur les principales lignes. — *Ligne de Giovi-Vecchia.* — Les charges remorquées sont de 190 t en simple traction et de 380 t en double traction.

Ligne de Giovi succursale (pente maximum 16 mm). — Les trains de 630 t, locomotives non comprises, sont remorqués à la vitesse de 30 km : h en double traction. Les trains de voyageurs express sont remorqués à la vitesse de 75 km : h par des locomotives à 4 vitesses.

La traction électrique a permis de faire passer le trafic journalier de 40 000 t à la montée à 45 000 t.

Le service électrique est interrompu tous les jours de 12 heures à 17 heures sur la ligne succursale, pour l'entretien, et la nuit sur la ligne de Giovi-Vecchia.

Ligne de Savone à Ceva. — La double traction symétrique, une locomotive en tête et une en queue, est admise à la vitesse de 50 km : h sur toute la ligne dans les deux sens, sauf pour les trains allant vers Savone dans le tron-

Digitized by Google

çon San Giuseppe-Savone qui comporte une descente continue de 16,5 km. entre Ferrania et Savone, avec pente de 25 mm. Dans ces conditions la charge remorquée admise est de 460 t de Savone à Pont-Bormida et de 500 t de Pont Bormida à Ceva, sauf pour la descente sur Savone dans le tronçon indiqué ci-dessus.

Entre San Giuseppe et Savone, la traction double en tête est seule admise, la descente s'effectuant à 25 km : h pour les trains non munis du frein continu ; charges remorquées : 860 t de Ferrania à Savone et 660 t de San Giuseppe à Ferrania.

Il est aussi prévu des trains à double traction avec locomoteur en tête, la charge variant avec les pentes des tronçons. En traction simple, la charge remorquée admise est de 230 t de Savone à Ferrania et 250 t de Ceva au sommet du tunnel Belbo. Pour les trains de marchandises qui ne possèdent pas de frein continu, il doit y avoir 2 wagons freinés sur 5 et exceptionnellement 1 sur 3 pour certains tronçons avec récupération d'énergie sous la vitesse de 50 km : h.

Le service électrique est interrompu tous les jours de 13 h 15 à 16 h pour permettre l'entretien de la ligne.

Ligne de Gênes à Savone. — Cette ligne est parcourue par 64 trains par jour, elle est à voie unique. Les trains de voyageurs sont remorqués par des locomotives à 4 vitesses, marchant à 75 km : h en vitesse normale ; la grande vitesse est rarement employée.

Conduite d'un train non muni de freins continus, en traction symétrique. — Pour démarrer en palier, c'est le mécanicien de queue qui met en route le premier sur le cran de vitesse 25 km : h, poussant ainsi le train. Quand le mécanicien de tête sent qu'il est poussé, il démarre à son tour progressivement ; lorsqu'il est arrivé à la vitesse de 25 km : h, il passe au cran de grande vitesse en prévenant le mécanicien de queue par un coup de sifflet prolongé. Ce dernier observe attentivement ses appareils (ampèremètres et wattmètres) règle le démarrage pour que sa locomotive soit régulièrement chargée et quand il s'aperçoit que son collègue de tête a terminé sa manœuvre, il met à son tour en grande vitesse.

A l'arrêt, en palier ou en montée, le mécanicien de tête coupe le premier en prévenant le mécanicien de queue par un coup de sifflet prolongé. Celui-ci coupe à son tour et participe au freinage ainsi que les gardes-freins. Si le train s'arrête trop vite, le mécanicien de queue remet en route pour pousser le train jusqu'au point d'arrêt.

Quand le courant descend à 60 A, qui correspondent au courant magnétisant des moteurs, les mécaniciens mettent leurs moteurs hors circuit.

Au démarrage en rampe, exceptionnellement, le mécanicien de tête démarre le premier.

Dans l'équipement de chaque locomotive se trouve un petit carton de forme spéciale que le mécanicien peut placer entre les mâchoires de l'interrupteur de court-circuit du rhéostat liquide pour éviter une mise en court-circuit intempestive des rotors des moteurs, court-circuit qui produirait des chocs sur les attelages.

La récupération se fait sur les pentes aux vitesses de 50 et 25 km : h et seulement à 25 km : h sur les longues descentes parcourues par des trains de marchandises n'ayant pas de frein continu.

Pour arrêter ou ralentir en pente, le mécanicien de tête coupe ses moteurs et freine, le mécanicien de queue, quand il voit diminuer et devenir nulle la puissance récupérée, coupe à son tour et freine. D'après les constatations faites sur place par M. Mauduit la marche des trains symétriques est très satisfaisante.

Pour les trains de marchandises, la nécessité d'être toujours maître du train empêche d'employer la récupération autant qu'il serait possible. Il n'en est pas de même pour les trains de voyageurs qui ont tous le frein continu ; la récupération maintient constante la vitesse du train dans les descentes. Le parcours moyen d'un sabot de frein, sur ces trains, a passé de 7500 km à 23 000 km soit le triple, d'où diminution correspondante de l'usure des bandages et des rails.

Répartition de la charge entre les deux locomoteurs en cas de double traction. — On aurait pu craindre avec les moteurs d'induction, dont la puissance est proportionnelle au glissement, que la moindre différence entre les diamètres des roues ou les résistances des rotors des moteurs, amène des écarts considérables de charge entre les deux locomoteurs ; en pratique il n'en est rien, la répartition se fait dans de très bonnes conditions et il n'est nécessaire de prendre des précautions spéciales que lorsque les diamètres des roues des locomoteurs sont trop différents par suite d'usure ; la différence ne doit pas dépasser 6 pour 100.

Sur les rampes c'est la locomotive dont les roues sont les plus grandes qui absorbe le plus de puissance ; sur les pentes, c'est celle dont les roues sont les plus petites qui récupère le plus d'énergie. On égalise les charges en introduisant une résistance dans le rotor du moteur à glissement le plus grand, c'est-à-dire dans les rotors des moteurs de la locomotive à grandes roues en montée et dans ceux de la locomotive à petites roues à la descente.

Voici d'ailleurs les réglements adoptés à ce sujet par les Chemins de fer de l'Etat Italien :

Chaque mécanicien est prévenu du diamètre des roues de sa locomotive et de celle de son collègue.

Quand l'écart des diamètres est inférieur ou égal à 5 mm, on ne prend aucune disposition spéciale, mais on doit veiller à une bonne ventilation des moteurs les plus chargés et à une utilisation convenable des sablières pour éviter le patinage.

Pour un écart compris entre 6 et 15 mm, on supprime le court-circuit du rhéostat (par interposition du carton isolant) dans les deux locomotives ; le mécanicien de la locomotive à plus petit glissement conserve sa manette dans la position de résistance minimum et celui de l'autre locomotive règle la charge d'après le profil de la ligne et l'indication de ses appareils.

Pour un écart de diamètre égal ou supérieur à 15 mm, le locomoteur à plus petit glissement voyage avec rotor en court-circuit franc et l'autre règle la charge au moyen de son rhéostat.

Mode de production de l'énergie. — L'énergie est presque entièrement fournie aux chemins de fer par des Sociétés particulières ; cependant l'Etat possède une centrale hydraulique de 6 000 kw à Morbegno.

L'énergie est produite directement à 16 p : sec ; le prix moyen de vente du kilowatt-heure est de 4,5 centimes.

Facteur de puissance moyen. — Le facteur de puissance moyen est faible ; pour les lignes de la Valteline à faible trafic, il est de 0,45, il monte à 0,7 ou 0,8 sur les lignes à gros trafic des environs de Gênes.

Influence sur les lignes télégraphiques et téléphoniques. — Les lignes téléphoniques ont été placées sous

Digitized by Google

câble au voisinage des lignes de traction triphasées. Les lignes télégraphiques locales ont parfois été maintenues avec retour à la tête quand elles ne sont parallèles aux voies que sur une faible longueur. Un grand nombre de lignes ont été déplacées.

Actuellement on essaye des transformateurs compensateurs qui éviteraient l'éloignement des lignes des voies ferrées. Cependant il paraît indispensable d'écarter les lignes directes, les lignes omnibus seules pourront être maintenues.

Résultats pratiques et économiques obtenus. — Au point de vue technique, l'exploitation des lignes triphasées est excellente et les lignes électrifiées ont vu leur capacité augmenter dans de fortes proportions.

Au point de vue économique, la traction électrique est plus avantageuse que la traction à vapeur sur les lignes à grand trafic et à fortes rampes des Giovi et de Savone à Ceva, l'économie est sensiblement nulle sur la ligne de Bussoleno à Modane, tandis que la traction à vapeur est beaucoup plus avantageuse sur les autres lignes à faibles déclivités et à trafic moins important.

Entretien des locomoteurs triphasés. — Tous les dix jours les locomoteurs passent une journée au dépôt pour la vérification des jeux dans les paliers et l'essai à haute tension des enroulements.

Pour les machines Westinghouse à bielles triangulaires, on refait tous les ans les portées des arbres des moteurs (une dizaine de jours) et tous les deux ans une vérification complète demandant quatre à six semaines.

Dans les machines à bielles obliques, il faut refaire le travail d'ajustage de tous les paliers, au moins chaque année. Les coussinets de toutes ces machines sont ajustés sur place et réglés au dixième de millimètre, ils doivent être revus dès que le jeu dépasse 3/10.

Les machines à bielles obliques consomment 60 g d'huile par kilomètre, tandis que les autres ne consomment que 30 g et les locomotives à vapeur 40 g.

La dépense annuelle d'entretien est d'environ 6 000 lires, soit 4 pour 100 du prix d'achat pour les locomoteurs E — 550.

Les machines Westinghouse à bielles triangulaires sont très robustes et peuvent atteindre des parcours journaliers de 300 km; certaines d'entre elles ont roulé pendant trois ans sans être revisées.

L'électrolyte des rhéostats est changé tous les trois mois; il comprend 11 kg de soude pour 900 litres d'eau, sa densité est 1,012.

Sept locomoteurs font le service de dix locomotives à vapeur.

Projets d'électrifications nouvelles. — Les chemins de fer de l'Etat italien envisagent un programme d'électrification portant sur 2 000 km qui permettrait une économie annuelle de 500 000 t de charbon moyennant une mise de fonds de 200 millions pour les installations fixes (100 000 lires par kilomètre, non compris les centrales et le matériel roulant).

Dans une première période de cinq années seront électrifiées les lignes suivantes :

Ronco-Novi-Turin-Bussoleno-Suse; Ronco-Tortone (ligne nouvelle); Novi-Tortone, Florence-Bologne, Florence-Faenza, Rome-Falconara, Gênes Spezzia, Gênes-Acqui-Asti et Milan-Chiasso.

Pendant une seconde période de cinq années, l'électrification portera sur les lignes :

Savone-Vintimille, Coni-Vintimille, Rome-Naples (ligne directe), Spezzia-Parme, Rome-Castellammare, Naples-Foggia.

Enfin, en dernier lieu, on électrifiera les lignes :

Gallarate-Arona-Domodossola-Iselle, Usmate-Bergame-Calolzio, Naples-Torre-Annunziata-Salerne-Gragnano, Rome-Frascati.

Toutes ces lignes seront équipées en triphasé. Le fonctionnement technique est excellent, mais semble acheté aux dépens des frais d'installation et d'exploitation.

Une ligne d'intérêt secondaire de Turin à Lanzo en cours d'exécution sera équipée en courant continu haute tension.

La Compagnie du Nord de l'Italie, qui exploite un réseau à voie normale au nord de Milan, a demandé l'autorisation d'électrifier son réseau en continu haute tension; l'affaire est en discussion en haut lieu.

Résumé des propriétés caractéristiques du triphasé. — La difficulté de la répartition des charges entre des locomoteurs fonctionnant en traction multiple a été résolue comme nous l'avons dit plus haut.

Le locomoteur E-550, à cinq essieux couplés et deux vitesses de régime, est à la fois léger et puissant et convient remarquablement à la traction des trains de marchandises. Le poids n'est que de 30 kg par cheval, ce qui n'a jamais été obtenu avec un autre système que le triphasé.

La vitesse constante des moteurs d'induction et la vitesse maximum de 50 km : h donnent une exploitation fort convenable des lignes de montagne à fort trafic de marchandises. L'emploi de la récupération produit une grosse économie d'énergie, de sabots de freins, de bandages et de rails.

Pour les lignes de plaines, les locomotives à quatre vitesses ont donné un fonctionnement satisfaisant; cependant le système manque de souplesse, surtout pour les trains-omnibus qui obligent à marcher presque toujours avec rhéostats, le rendement s'en ressent.

L'inconvénient principal du système de traction triphasé est la complexité de la ligne de contact qui entraîne de gros frais d'établissement et d'entretien; par contre cette ligne fonctionne bien, même pour les grandes vitesses.

En ce qui concerne l'alimentation en énergie, le facteur de puissance à l'usine est très faible, de 0,4 à 0,7 suivant la la puissance. La faible fréquence, 15 à 17 p : sec, oblige d'avoir dans les usines des machines réservées uniquement à la traction ou d'avoir recours à des sous-stations rotatives, ce qui augmente les frais d'installation et d'entretien, le courant à 15 ou 17 p : sec étant impropre à d'autres usages que la traction.

Enfin le triphasé, comme le monophasé, crée des perturbations considérables sur les lignes à courant faible.

(*A suivre.*)

H. C.

Digitized by Google

Notes pratiques

Le halage des conducteurs électriques dans les conduites.

Un praticien très connu des Américains, M. Terrel Croft, indique quelques tours de mains qui lui ont bien facilité cette opération (1). La figure 1 montre deux gros câbles tout

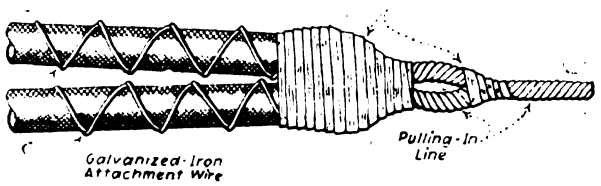


Fig. 1. — Deux gros câbles attachés au cordeau de halage.

prêts à être introduits dans la conduite. Les opérations successives à réaliser sont détaillées dans les figures, 2, 3 et 4, relatives à un seul câble. Pour ligaturer celui-ci au cordeau de traction, on se sert d'un fil de fer galvanisé n° 10, diamètre 2,58 mm, longueur 1,20 m que l'on place d'abord comme le montre la figure 2 ; puis on fait tourner les deux

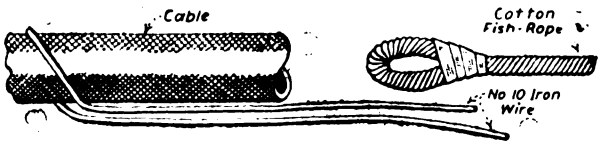


Fig. 2. — Détails de la ligature d'un câble au cordeau de halage.

brins autour du câble en sens opposé jusqu'à ce qu'il reste deux bouts libres de 10 cm de longueur environ ; ceux-ci sont passés dans la boucle du cordeau de traction, tordus ensemble et finalement enrobés dans une lanière qu'on enroule à spires jointives sur toute la longueur de la ligature. Le fil de fer s'enfonce d'autant plus dans le câble que la traction est plus forte, et la bande constitue une protection contre les chocs ou les accrocs. Pour le cordeau de

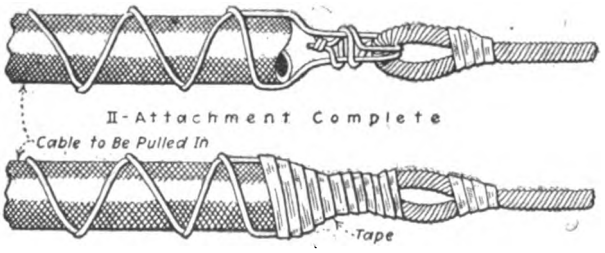


Fig. 3 et 4. — Suite des détails de la ligature d'un câble au cordeau de halage.

traction on peut se servir d'une amarre en coton. On trouve maintenant dans le commerce des ligatures en fil de fer préparées à l'avance; il suffit de les enfiler sur les câbles ou les gros conducteurs.

(1) *Electrical Review*. Chicago, 25 janvier 1919, t. LXXIV, p. 155-156.

Quand on doit introduire dans une même conduite un paquet de petits conducteurs, on procède de la manière indiquée en figure 5. Les conducteurs sont dénudés sur

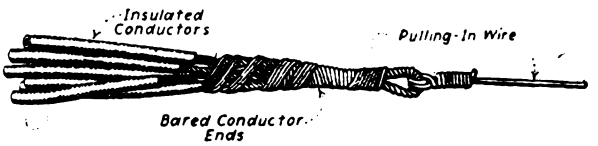


Fig. 5. — Paquet de conducteurs de faible diamètre attachés au cordeau de halage, mais sans le bandage.

une certaine longueur à l'une de leurs extrémités; on en prend quelques-uns avec lesquels on forme une torsade qui est passée dans la boucle du filin de traction, puis qui est bouclée elle-même et maintenue par des ligaments. Les extrémités des autres conducteurs sont ensuite enroulées autour de ce petit câble et fortement serrées par une bande comme on l'a décrit ci-dessus. L'ensemble a la forme d'un cône ayant son sommet au point d'attache des boucles.

Presque toujours on a besoin d'identifier les conducteurs logés dans une même conduite ; le repérage après pose est long et il est préférable d'y procéder avant l'introduction des conducteurs dans la conduite. Pour cela, on attache séparément les conducteurs dénudés au cordeau tracteur ; le premier, fixé tout près de l'extrémité du cordeau, sera numéroté 1 ; l'autre bout portera le même numéro ou bien sera ligaturé à un câble dit « câble mort ». En résumé chaque conducteur aura sur le câble mort le même rang que sur le câble tracteur.

Comment on travaille l'aluminium.

Nous avons déjà donné dans les numéros des 4, 19 avril et 7 juin quelques opérations du travail de l'aluminium ; en voici quelques autres :

Conservation des objets en aluminium. — Il est bon, pour conserver en magasin des objets en aluminium, de les graisser très légèrement, ce que l'on fait en les frottant simplement avec un linge gras enduit de vaseline neutre par exemple.

Nettoyage et ébarbage. — — Le nettoyage se fait facilement à la brosse, ou au jet de sable, qui donne aux pièces brutes un très bel aspect. Les masselottes et les grosses bavures sont enlevées à la scie à ruban ; les petites bavures au marteau à main ou pneumatique. On peut encore réparer au chalumeau les pièces contenant quelques criques de moulage, lorsque ces criques ne compromettent pas la solidité de la pièce.

Cintrage des tubes. — Le cintrage des tubes se fait comme celui des tubes de cuivre ou de laiton ; il suffit de remplir le tube de sable, le cintrage se fait alors sans difficulté par les procédés ordinaires, soit à la main, soit à la machine à cintrer.

Pour les travaux de cintrage un peu compliqués (serpentins, par exemple), il vaut mieux employer de l'aluminium recuit.

Digitized by Google

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Compagnie générale des Câbles de Lyon. Ancienne Société française des Câbles électriques, système Berthoud, Borel et Cie.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DU 13 JUIN 1919.

Le chiffre des affaires s'est encore accru pendant cet exercice; toutefois le travail intensif et l'acquisition d'un matériel particulier pour les travaux de guerre ont entraîné des dépenses spéciales portées en charges de l'exercice, de sorte que le résultat bénéficiaire n'est que légèrement supérieur à celui de l'exercice 1917, soit 334 949, 73 fr contre 311 549, 40 fr.

En ajoutant le solde de 1917, 335 513, 92 fr, on a un solde disponible de 670 463, 65 fr sur lequel il est prélevé un dividende de 50 fr aux 6 000 actions, soit 300 000 fr; 16 666 fr au Conseil d'administration.

Le report à nouveau est de 670 463, 65 fr.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1918.

Actif.

	fr
Terrains	1 043 821,55
Immeubles et constructions	714 253 »
Matériel, outillage et installations diverses	2 155 616,36
Espèces en caisse et en banque	806 286,68
Cautionnements	101 622,50
Impôts à récupérer	18 370,61
Débiteurs divers	5 175 906,12
Produits fabriqués	1 384 206,80
Produits en cours de fabrication	814 308,14
Matières premières et approvisionnements divers	3 714 683,11
Portefeuille-titres	445 250 »
	16 374 324,87

Passif.

	fr
Capital-actions	3 000 000 »
Réserve légale	300 000 »
Réserve pour amortissements	2 512 369,36
Obligations amorties	91 500 »
Obligations en circulation	558 500 »
Créditeurs divers, provisions et comptes d'ordre	9 205 629,30
Coupons à payer, obligations à rembourser	35 862,56
Profits et pertes :	
Reliquat de l'exercice 1917	335 513,92
Bénéfices disponibles de l'exercice 1918	334 949,73
	16 374 324,87

Société des Forces du Fier.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 25 AVRIL 1919.

Durant l'année, l'exploitation de l'électricité a été rendue difficile tout d'abord par la crue de décembre qui a causé des dégâts importants au barrage et au chemin, puis par l'arrêt répété de l'usine Coignet par suite du manque de matières premières et son arrêt complet depuis l'armistice. La production de l'usine n'a atteint que 9 200 000 kw au lieu de 12 000 000 en 1917.

Le principal travail d'extension de réseau a été le raccordement de l'usine de roulements à billes Schmid-Roost à celle de Brassilly par une ligne à 30 000 v et l'installation de son poste de transformation.

Le nombre des abonnés de lumière atteignait en fin d'exercice 3 798 contre 2 911 à la fin 1915. Le total de 37 000 lampes donnait une recette de 125 000 fr. Dans ce nombre ne sont pas compris les réseaux desservis d'Aix et de Cruseilles.

Il y avait 198 abonnés de force motrice contre 165 à fin 1915, représentant 1 631 ch.

Il a été acheté 1 225 000 kw-h à Ugine et il lui a été renvoyé 1 010 000 kw-h. Les réseaux ont absorbé 3 900 000 kw-h, l'usine Coignet 4 700 000 et le gaz d'Aix près de 700 000.

L'arrivée à Aix des permissionnaires américains a amélioré la situation de la Société d'éclairage d'Aix, les recettes ont été de 45 000 fr pour le gaz et de 103 000 fr pour l'électricité.

Les travaux de Chavaroche n'ont pu être poussés comme la Société l'espérait. Le canal à ciel ouvert a été excavé sur une longueur de 200 m dans les communaux de Poisy. Le souterrain de Montrottier, long de 1 450 m, a été attaqué en 4 points différents : 1° près de la gare de Lovagny où l'avancement de la galerie de faite atteint 172 m dans le gravier et où le revêtement de la calotte, commencé sur 24 m, a été arrêté par suite de l'impossibilité de recevoir du ciment; 2° dans la fosse des Liasses en amont des Gorges du Fier. Cette attaque est dans le calcaire dur, l'avancement était à fin décembre de 63 m du côté amont et de 69 m du côté aval de la fenêtre. Dans cette partie, le tunnel n'a pas besoin d'être revêtu et sa section est de 25 m². Depuis fin mai, nous disposons d'une installation de perforation à l'air comprimé qui a beaucoup amélioré le rendement et permis d'extraire 3 000 m³ de rochers dans l'année avec un personnel relativement réduit; 3° dans la fosse de Montrottier, à l'aval des gorges, où un puits a été creusé et muni de machines d'extraction et de pompes; 4° à l'extrémité, à l'aval du viaduc de Chavaroche où nous avons rencontré un calcaire asphaltique sous une couche de boues glaciaires. Ces deux dernières attaques, faute de personnel, étaient seulement amorcées à fin 1918.

A l'emplacement de l'usine et de la chambre d'eau, nous avons exécuté d'importants sondages nécessités par la nature tourmentée du terrain.

Une cantine pour ouvriers a été aménagée dans l'ancienne usine d'asphalte acquise en 1917. Une autre est en aménagement dans une partie des moulins des Cotes loués pour 25 ans à l'Académie florimontane. Enfin des logements pour familles sont occupés dans l'ancien château de Chavaroche.

Digitized by Google

Il a été commandé 2 turbines de 3 000 ch 500 t : min aux Ateliers Neyret-Brenier et Piccard-Pictet à Grenoble et 2 alternateurs triphasés, 2 700 kw 500 v 50 p : sec à la Société Westinghouse du Havre, ainsi qu'un assez important matériel d'entreprise.

Les travaux sont confiés à un spécialiste et exécutés directement au compte de la Société.

Les dépenses s'élevaient au 31 décembre 1918 à 579 076,01 fr. Il y a lieu d'ajouter 51 677 fr de matériel ainsi que la moitié de la valeur des machines commandées restant à verser et formant une somme de 230 000 fr payable à la livraison.

L'autorisation d'emprunt donnée à l'assemblée de 1918 n'a pas été utilisée, mais dans le cours de 1919 il est prévu un emprunt de 500 000 fr.

Les recettes accusent une plus-value de 97 000 fr, tandis que les dépenses ont augmenté de 72 000 fr.

Les bénéfices bruts se sont élevés à 419 076,68 fr en augmentation de 26 000 fr environ. Après amortissements et paiement des intérêts d'obligations, le bénéfice net de l'exercice 1918, plus le reliquat de 1917 atteint 161 342,90 fr. Sur cette somme 5 pour 100 sont versés à la réserve légale, 5 pour 100 aux actions et un dividende supplémentaire de 1,5 pour 100, soit 32,50 fr par action sous déduction des impôts.

Ce dividende est payé à partir du 1er juin, contre remise du coupon n° 14.

Le solde à reporter à nouveau est de 20 314,15 fr.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1918.

Actif.

	fr
Frais de 1er établissement	460 647,71
Concession gaz	5 000 »
Immeubles et usines :	
Gaz	380 553,34
Electricité	1 236 472,33
Nouvelles chutes :	
Chavaroche	579 076,01
Thiou	71 866,33
Participation Aix-les-Bains :	
Actions	612 500 »
Obligations	44 500 »
Matériel et mobilier	59 380 »
Réseaux	1 784 031,37
Branchements et installations gratuites	272 656,65
Appareils en location	177 155,70
Magasins et approvisionnements	137 243,90
Caisse et banque	49 340 02
Débiteurs divers	100 890,05
Avances diverses	53 449,92
	6 024 763,33

Passif.

	fr
Capital actions	2 000 000 »
Capital obligations	2 000 000 »
Gaz : action non acquise et dividende arriéré	689,62
Créanciers divers	308 338,34
Retraites ouvrières	296,70
Dividendes arriérés	15 584,05
Réserve légale	65 572,69
Réserve extraordinaire	130 000 »
Provision pour sécheresse	60 000 »
Amortissements :	
Antérieurs	1 098 888,23
1918	184 050,80
A reporter	5 863 420,43
Report	5 863 420,43
Profits et pertes :	
Exercice 1918	145 025,88
Reliquat 1917	16 317,02
	6 024 763,33

Banque nationale de Crédit.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 5 JUIN 1919.

L'Assemblée générale s'est tenue le 5 juin sous la présidence de M. Eugène Raval.

Le rapport du Conseil fait ressortir les importantes augmentations que présente le bilan au 31 décembre 1918 sur celui de l'exercice précédent.

Le bilan se totalise par plus d'un milliard de francs.

La Banque nationale de Crédit a donné un concours constant aux besoins du Trésor, tout en mettant son activité au service de sa nombreuse clientèle : c'est ainsi que ses guichets ont participé au placement d'un nombre considérable de titres.

Ses dépôts ont passé de 580 à 814 millions de francs.

Le compte de profits et pertes présente un solde créditeur de 11 596 544,82 fr qui a reçu l'affectation suivante :

Attribution de 5 pour 100 à la réserve légale	500 703,78
Part à l'Etat en vertu de la loi sur les bénéfices de guerre	2 801 144,30
Premier dividende de 4 pour 100 au capital-actions	1 500 000 »
Aux parts de fondateur, maximum de 11 fr prévu par les statuts	1 650 000 »
Au Conseil d'administration : 10 pour 100 sur 5 212 227,61 fr	521 222,75
Deuxième dividende de 80 pour 100 au capital-actions	3 000 000 »
A reporter à nouveau	1 623 473,99
	11 596 544,82

Les réserves, provisions et reports de profits et pertes s'élèvent à 36 862 852,79 fr.

M. Eugène Raval, administrateur délégué depuis l'origine de la Société a été nommé président. Il a été pendant la guerre, l'âme de la Banque nationale de Crédit, et il continue à donner tout son concours à l'orientation de la politique générale de la Banque.

Le Conseil a été réélu en entier et MM. Henry Lederlin et Edmond Odier ont été réélus comme commissaires aux comptes pour l'exercice 1919.

Toutes les propositions du Conseil ayant été adoptées à l'unanimité, le paiement du dividende aux actions et aux parts de fondateur aura lieu à partir du 10 juin aux caisses de la Société, sous déduction des impôts, soit net :

14,25 fr pour les actions.

10,45 fr pour les parts de fondateur nominatives.

10,01643 fr pour les parts de fondateur au porteur.

L'Assemblée générale extraordinaire qui a suivi a reconnu la sincérité de la souscription aux 100 000 actions nouvelles.

Le capital de la Banque nationale de Crédit se trouve ainsi porté à 200 millions de francs.

FIN DU TOME V

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

32101 049823311

Digitized by Google

Digitized by Google